

Изотопы в климатологических исследованиях

Природные изотопы помогают нам понять мировой климат

Казимир Розаньский и Роберто Гонфьянтини

Основным толчком к резкому усилению интереса, проявляемого в последнее время к климатическим исследованиям, послужило растущее беспокойство ученых, связанное с тем, что быстро усиливающееся и расширяющееся воздействие человеческой деятельности на глобальную экосистему может в ближайшем будущем значительно изменить климат планеты. Основным источником такого беспокойства являются наблюдаемые изменения в атмосфере земли, которая, вероятно, представляет собой наиболее уязвимую часть всей экосферы.

Данные наблюдений четко указывают на то, что антропогенные выбросы изменяют концентрацию в воздухе некоторых микрокомпонентов, например, двуокси углерода, метана, окиси углерода, озона, хлорфторуглеродов (ХФУ), окиси азота и серы. Эти изменения могут в ближайшем будущем привести к вредным далекоидущим последствиям в результате прямого воздействия на биосферу, включая людей, и косвенного в силу изменения условий жизнеобеспечения. В качестве яркого примера таких последствий можно привести глобальное потепление климата, обусловленное процессом быстрого увеличения концентрации некоторых атмосферных компонентов, известным как „парниковый эффект“.

Фактически, глобальная средняя температура приземного воздуха возрастает уже в течение столетия, вероятно, в силу того, что земля сейчас проходит через один из своих периодов незначительных климатических изменений, часто отмечавшихся в прошлом. Однако ожидается, что в ближайшем будущем темпы потепления атмосферы земли, которые в последние 100 лет составляли примерно 0,5 градуса Цельсия, резко возрастут и приведут к драматическим последствиям, например, таянию полярного ледникового покрова с поднятием уровня моря и затоплением низменных прибрежных равнин, изменениям в схемах распределения

осадков и режимах рек и расширению площадей с засушливым климатом.

Причина прогнозируемого повышения средних темпов глобального потепления нижних слоев атмосферы заключается в дополнительной энергии, получаемой некоторыми атмосферными микрогазами, перехватывающими инфракрасное излучение, которое в противном случае ушло бы в космическое пространство. Двуокись углерода и метан являются наиболее важными газами, обуславливающими парниковый эффект, концентрация которых в воздухе возрастает с середины прошлого столетия в основном, но не ограничиваясь этим, за счет все увеличивающегося потребления органического топлива. (См. табл. 1.)

Однако прогнозы относительно возникновения и масштабов парникового эффекта очень неточны по своему характеру, что обусловлено сложностью природных связей и все еще недостаточными знаниями глобальных метеорологических и климатологических механизмов. Например, мы по-прежнему далеки от глубокого понимания процессов, регулирующих состав атмосферы, и механизмов обратной связи между основными областями (атмосфера, гидросфера, биосфера, геосфера) глобальной экосистемы, которые определяют ее реакцию на внешние и внутренние факторы воздействия. Стало очевидно, что более глубокого понимания динамики этой чрезвычайно сложной нелинейной системы можно добиться только на основе комплексного подхода, объединяющего два общих направления исследований, направленных на:

- **Понимание современного климата.** Данный процесс включает в себя оценку тенденции на основе данных наблюдений, уточнение и совершенствование общих моделей атмосферной циркуляции (ОЦМ); более глубокое понимание роли и влияния океанической циркуляции на климат; идентификацию и оценку важных механизмов обратной связи; оценку источников и приемников газов, обуславливающих парниковый эффект.

- **Понимание климата прошлого.** Данный процесс включает в себя более точное описание климатических изменений в прошлом с более точным

Г-н Гонфьянтини возглавляет Секцию изотопной гидрологии Отдела физических и химических наук МАГАТЭ, а г-н Розаньский является сотрудником этой Секции.

Таблица 1. Тенденции в изменении концентраций основных атмосферных микрогазов

Газ	Концентрации		Наблюдаемые тенденции в 1975–1985 гг. (%)	Середина XXI века
	До 1985 г.	1985 г.		
CO ₂	275 ppmv	345 ppmv	4,6	400–600 ppmv
CH ₄	0,7 ppmv	1,7 ppmv	11,0	2,1–4 ppmv
N ₂ O	0,285 ppmv	0,304 ppmv	3,5	0,35–0,45 ppmv
ХФУ-11	0	0,22 ppbv	103	0,7–3 ppbv
ХФУ-12	0	0,38 ppbv	101	2,0–4,8 ppbv

Источник: В. Раманатан, журнал *Science*, 240 (1989 г.), стр. 293–299.

ppmv – часть на миллион частей (в объеме).

ppbv – часть на миллиард частей (в объеме).

определением причин, временных рамок и масштабов; детальную реконструкцию поведения глобальной экосистемы во время гляциальных/мегляциальных переходов; разработку моделей, позволяющих целенаправленно экстраполировать прошлые климатические изменения в будущее.

Природные изотопы, распределение которых в природных соединениях определяется условиями внешней среды, являются наиболее мощным инструментом исследования климатических изменений и реакции окружающей среды на климатические изменения. В данной статье дается краткое описание вклада этих изотопов в совершенствование современных взглядов на климатологию и палеоклиматологию. Кроме того, показана роль МАГАТЭ в сборе и обработке данных изотопных измерений, связанных с исследованиями климата и его изменений во времени.

зительно 40000 лет. В настоящее время в палеоклиматологии применяются многие радиоизотопы, период полураспада которых находится в диапазоне значений, значительно превышающих или значительно меньших, чем период полураспада углерода-14. (См. табл. 2.)

Концентрация стабильных изотопов в природных соединениях варьируется в результате небольших, зависящих от массы, расхождений в поведении изотопов в физико-химических процессах. В силу того, что масштабы этих изотопных эффектов или степень фракционирования изотопов являются функцией параметров, характеризующих любой определенный процесс, наиболее важную роль среди которых играет температура, информацию о природных условиях, существовавших в момент образования соединения, можно получить по данным содержания стабильного изотопа в воде, льде или минералах.

В климатических исследованиях наиболее часто применяются такие стабильные изотопы, как тяжелые изотопы водорода и кислорода, т.е. водород-2 (или дейтерий) и кислород-18, которые позволяют эффективно проследить изменения в гидрологическом цикле, вызванные климатическими условиями. Кроме того, еще одним мощным климатическим индикатором является углерод-13, тяжелый изотоп углерода.

Короче говоря, мы можем сказать, что в геохимической климатологии, как и в других областях геохимии, природные радиоизотопы используются в качестве временных индикаторов, а стабильные изотопы – в качестве температурных индикаторов. В нижеизложенном кратком обзоре дается описание крупного вклада изотопных методов в исследование изменения климата земли во времени.

Как применяются изотопы?

Наиболее характерным примером применения природных изотопов в геохимии, вероятно, является их использование в качестве инструмента датирования. Разработано большое число разнообразных методов, основанных на распаде радиоактивных изотопов и накоплении дочерних изотопов, которые позволяют определить возраст грунтовых вод, льда, пород, отложений и т.д.

В последние годы развитие ускорительной масс-спектрометрии – нового аналитического метода, позволяющего обнаружить низкие концентрации природных радиоизотопов в очень небольших по своему объему пробах, – привело к расцвету этих методов.

В климатологии многие методы изотопного датирования можно в принципе применять для определения истинных временных масштабов прошлых климатических событий; выбор метода зависит от возраста и характера исследуемой системы. Используются как природные (космического происхождения и *in situ*), так и антропогенные радиоизотопы. До настоящего времени наиболее популярным методом датирования был и, вероятно, по-прежнему остается метод, основанный на применении углерода-14, радиоактивного изотопа углерода, период полураспада которого равен 5730 годам; данный метод позволяет определить возраст в диапазоне от нескольких сот до прибли-

Океан

В силу своей относительной однородности океан является идеальной средой для регистрации крупных долгосрочных климатических изменений. Действительно, благодаря большой массе океана и обусловленной этим тепловой, химической и изотопной инерции кратковременные климатические колебания оказывают на него ограниченное и очень часто ничтожно малое воздействие.

Таблица 2. Изотопы, используемые в климатологических исследованиях

Изотопы	Тип изучаемого материала	Тип получаемой климатической информации
Стабильные изотопы: Дейтерий (Водород-2) Кислород-18 Углерод-13	– морские отложения – озерные отложения – керны льда – отложения в пещерах – грунтовые воды – осадки	температура океана, океаническая циркуляция, объем ледяного покрова, температура воздуха, относительная влажность, динамика гидрологического цикла в региональной и глобальном масштабе
Антропогенные радиоизотопы: Тритий (Водород-3) Криптон-85 Цезий-137 Углерод-14	– воды океана – океанические карбонаты – озерные отложения – грунтовые воды – осадки – атмосфера	динамика океана, динамика атмосферы, скорость образования отложений
Природные радиоизотопы: Радон-222, свинец-210, аргон-39 Углерод-14, торий-230, протактиний-231 Уран-234, уран-238, калий-40	– морские отложения – озерные отложения – отложения в пещерах – воды океана – грунтовые воды – атмосфера	датирование морских отложений, датирование озерных отложений, датирование отложений в пещерах, датирование вод океана, датирование грунтовых вод, динамика атмосферы

Морские отложения стали первым важным источником изотопных данных, используемых в палеоклиматологии. Соотношение кислород-18/кислород-16 в известковых оболочках морских простейших организмов, называемых фораминиферами, которые были обнаружены в керновых пробах морских отложений, является функцией соотношения кислород-18/кислород-16 в морской воде и ее температуры. Два этих фактора оказывают одинаковое воздействие на климатические колебания во время гляциального/межгляциального перехода, влияя на изменение изотопного состава образуемого карбоната кальция. Было установлено, что изменения в соотношении кислород-18/кислород-16 в оболочках фораминифер довольно хорошо согласуются с ожидаемыми изменениями в инсоляции, вызванными циклическими изменениями параметров земной орбиты и результирующими климатическими колебаниями, предсказанными по теории Миланковича. Благодаря параллельному датированию керновых проб отложений с применением радиоуглеродного метода, метода неравновесности уранового ряда или калий-аргонового метода стало возможным провести подробный хронологический анализ и рассчитать изменения температуры океана в четвертичном периоде. (См. рис. 1В.)

Кроме того, использование природных изотопов в современной физической океанографии можно рассматривать как косвенный вклад в климатологию. Действительно, несмотря на значительную однородность современного океана, в его изотопном и химическом составе имеются небольшие расхождения. Вместе с изменениями в содержании трития и углерода-14 такие расхождения можно использовать для прослеживания движения различ-

ных масс воды, определения схем их циркуляции в глубине и изучения механизма перемешивания глубинных и приповерхностных слоев океана. Оценка современной океанической циркуляции играет важную роль в понимании влияния океана на глобальный климат и метеорологию.

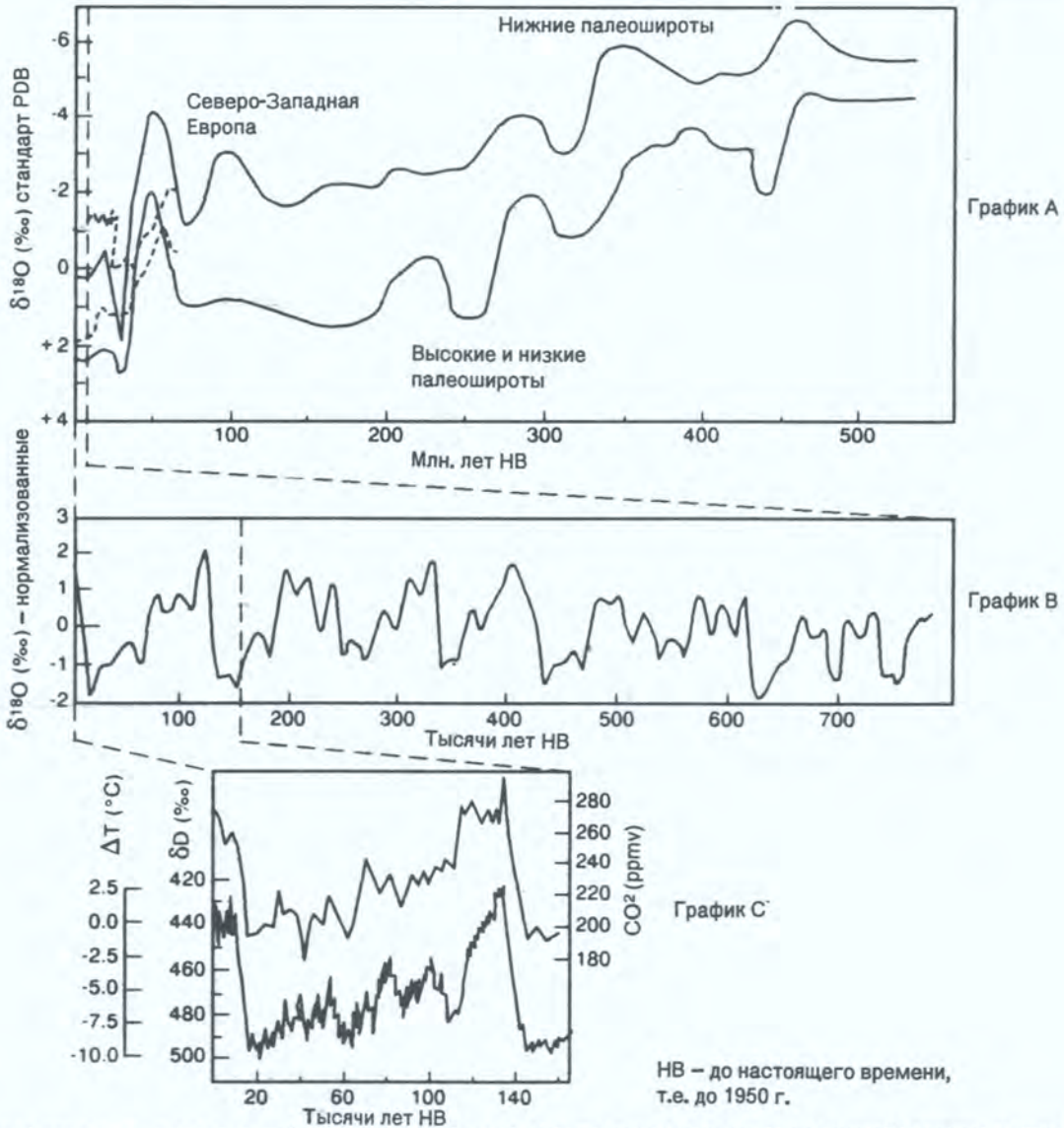
Окружающая среда высокоширотных континентальных районов: ледниковый покров

Крупные массивы льда в высокоширотных районах (Гренландия, Антарктика) оказались прекрасными „архивами” данных о климате в плейстоцене. Фактически, значительная часть нашей информации об изменениях климата в четвертичном периоде была получена благодаря данным об изотопном составе полярного ледникового покрова.

Ледниковый покров, образовавшийся в результате выпадения снега на обширных почти ровных территориях с отрицательной среднегодовой температурой, сохраняет вертикальную стратификацию, несмотря на уменьшение годовых слоев по мере возрастания глубины залегания, что в основном обусловлено процессом сжатия, в результате которого снег сперва превращается в фирновый или гранулированный лед, а затем – в сжатый лед.

Соотношения кислород-18/кислород-16 и водород-2/водород-1 в осадках в значительной степени коррелируются с температурой их образования: более низкая температура образования ведет к изотопному обеднению осадков. На средних и высоких широтах, где наблюдаются очень резкие сезонные

Рис. 1. Природные изотопы как палеоклиматические индикаторы.



Данные графики служат иллюстрацией нескольких примеров обусловленных климатом изменений в концентрации кислорода-18 и дейтерия, информация о которых сохранилась в природных «архивах», а именно в океанических отложениях и полярных льдах. Сплошные линии на графике А указывают на диапазоны изотопного содержания кислорода в хорошо сохранившихся морских ископаемых. На основе определенных предположений эти изотопные данные можно представить в виде температурных данных. Считается, что свыше примерно 50 млн. лет назад наблюдаемые изменения в концентрации изотопов были вызваны в основном резкими изменениями в океанической циркуляции, что привело к значительным расхождениям в содержании изотопов в глубоких и приповерхностных слоях океана.

На графике В показана сложная кривая изменений содержания кислорода-18 в раковинах фораминифер, обнаруженных в пяти глубоководных океанических керновых пробах. На начальном этапе гляциального периода изотопные эффекты, которые сопутствовали процессам испарения и конденсации вод океана, привели к накоплению кислорода-16, в первую очередь, в наступающих ледниках и к соответствующему изотопному обогащению оставшихся вод океана. С отступлением ледников эта обедненная по изотопному составу вода вернулась в океан. С другой стороны, разделение изотопа кислорода-18 между карбонатными раковинами фораминифер и морской водой зависит от температуры — в раковинах, которые образовались при более высокой температуре океана, наблюдается повышенное содержание кислорода-18. Расчеты показывают, что общую амплитуду колебаний содержания кислорода-18 на данном графике можно примерно на 70 % объяснить изменениями в объемах ледяного покрова. Оставшаяся часть обусловлена температурными изменениями.

График С иллюстрирует изменения в концентрации двуокиси углерода в атмосфере, о чем свидетельствуют пузырьки воздуха во льдах (верхняя кривая), и в температуре приповерхностного воздуха, определенные по профилю содержания дейтерия (нижняя кривая) и нанесенные на кривую в зависимости от возраста льда в керновых пробах станции Восток. Профиль концентрации двуокиси углерода точно повторяет температурную кривую, что указывает на тесную связь между содержанием двуокиси углерода в атмосфере и климатом.

Примечание. Концентрации дейтерия и кислорода-18 выражены в значениях δ , т.е. в тысячных долях процента отклонений от стандарта (для кислорода-18 в карбонатах — стандарт PDB, а для кислорода-18 и дейтерия в воде — стандарт V-SMOW).

Источники: График А — данные Л.Б. Рейлобэка, журнал *Geochimica et Cosmochim Acta*, 54 (1990 г.), стр. 1601–1609. График В — данные Имбрие и соавторов, журнал *Milankovitch and Climate*, часть I, А.Л. Бергер и другие, издательство D. Riedel Publishers (1984 г.), стр. 269–305. График С — Барнола и другие, журнал *Nature*, 329 (1987 г.), стр. 408–414.

перепады температур, это приводит к параллельным сезонным изменениям в изотопном составе осадков, причем летом наблюдается более высокое содержание тяжелых изотопов, чем зимой. Такие сезонные расхождения в концентрации изотопов сохраняются в ледниковом покрове даже на значительной глубине (порядка 1–1,5 км), несмотря на диффузию, которая обычно сглаживает такие различия. В основе метода датирования льда и оценки скорости образования лежит подсчет годовых изотопных циклов по вертикальному профилю.

Кроме того, корреляция температуры и изотопного состава позволяет идентифицировать льды, отложившиеся в течение гляциальных периодов, которые, как считается, должны содержать значительно меньше тяжелых изотопов, чем современные отложения. Действительно, до настоящего времени такая картина наблюдалась во время бурения всех глубоких разведочных скважин в полярных льдах. Изменения в содержании кислорода-18 и дейтерия, которые можно проследить в ледяном покрове, позволили детально реконструировать высокоширотные палеотемпературы во время последнего гляциального/межгляциального цикла. (См. рис. 1С.) Более того, благодаря химическому анализу образовавшихся во льдах пузырьков воздуха стало возможным реконструировать временные изменения в концентрации двуокиси углерода и метана в воздухе в течение последних 16000 лет. Профиль концентраций двуокиси углерода в керновых пробах льда со станции Восток (Антарктика) (См. рис. 1С) точно копирует температурную кривую, построенную на основе данных о профиле концентраций дейтерия, что указывает на тесную связь между содержанием двуокиси углерода и климатом. Считается, что наблюдаемые изменения в концентрации двуокиси углерода скорее всего связаны с обусловленными климатом изменениями в океанической циркуляции, чем непосредственно с парниковым эффектом. Для более точной интерпретации данных потребуется, в частности, определить изменения в концентрации изотопа углерод-13 в двуокиси углерода, содержащейся в вышеупомянутых пузырьках воздуха. Данные о содержании двуокиси углерода и изотопных профилях в керновых пробах льда в Гренландии указывают на их поразительное сходство с антарктическими профилями, что позволяет сделать предположение об общей синхронности основных климатических переходных процессов в северном и южном полушариях.

Окружающая среда средне- и низкоширотных континентальных районов

Исследования, которые мы кратко обсудили в предыдущих разделах статьи, ограничивались морской и полярной средой. Они почти идеальны для проведения изотопных исследований – первая в силу своей однородности, позволяющей обнаружить эффекты с относительно небольшой амплитудой, а вторая – благодаря более резкому характеру климатических изменений.

Однако значительный интерес проявляется и к климатическим изменениям в средне- и низкоширотных континентальных районах. Этот интерес стимулируется тем, что, по мнению ученых, в различных географических регионах будут наблюдаться относительно большие расхождения в масштабах и времени реакции климата на внешние и внутренние факторы воздействия. Совершенно очевидно, что информация о том, что происходило с климатом в прошлом в различных районах мира, будет исключительно полезной для прогнозирования последствий будущих климатических изменений.

Озерные отложения являются одним из наиболее ценных континентальных материалов, позволяющих реконструировать палеоклиматические изменения. Этот материал очень часто содержит карбонат, кислородоизотопный состав которого регулируется содержанием кислорода в озерной воде. В сточных озерных системах с быстрым круговоротом воды изотопный состав воды соответствует составу осадков, выпадающих в районе озера, который, в свою очередь, зависит от температуры. Таким образом, периодам холодного и мягкого климата соответствует минимальное или максимальное содержание кислорода-18 в карбонатных отложениях.

Более сложным по своему характеру является случай с бессточными озерными системами, в которых изотопный состав воды в сильной степени определяется испарением и обменом с атмосферной влагой. В такой системе причиной изменений в содержании изотопа кислорода, зафиксированных в карбонатных отложениях, являются изменения в водном балансе, причем для сухих периодов характерно высокое содержание кислорода-18, обусловленное процессом испарения, в результате которого из озера в основном испаряется легкая по изотопному составу вода.

Проведившиеся до настоящего времени изотопные исследования позволили реконструировать климатические и гидрологические режимы, преваляровавшие во время позднего гляциального/межгляциального перехода и в начале голоцена в Центральной Европе, Северной Африке и Северной Америке. Значительные расхождения между этими регионами были обнаружены как во времени, так и структуре такого перехода. По озерным отложениям в Сахаре и Сахеле было, например, зафиксировано несколько смен сухого и влажного климата. В Сахаре наиболее важные периоды, связанные с увлажнением климата, отмечались 14500–11000 и 9300–7500 лет назад. Существуют изотопные данные, в соответствии с которыми основная часть запасов грунтовых вод в водоносных горизонтах Сахары, вероятно, была накоплена именно в это время.

Подземные воды также являются источником палеоклиматической информации. Изотопный состав грунтовых вод обычно соответствует среднему изотопному составу осадков в области питания. Следовательно, изменения в изотопном составе осадков, связанные с климатическими изменениями, влияют на изотопный состав грунтовых вод. Растворенные в грунтовых водах благородные атмосферные газы (неон, аргон, криптон, ксенон) при наличии благоприятных условий могут также стать источником ценной палеоклиматической информации. В пористых водоносных горизонтах

концентрации благородных газов в грунтовых водах непосредственно связаны со средней годовой температурой в области питания и, следовательно, их можно использовать для реконструкции температурных изменений в прошлом.

Однако существует целый ряд проблем, затрудняющих использование грунтовых вод в качестве климатического индикатора. Грунтовые воды очень редко представляют собой закрытую систему. Процессы диффузии и дисперсии в водоносных горизонтах, смешивание грунтовых вод, накопленных в различных горизонтах, за счет протечек или разрывов разделяющих их геологических формаций, а также взаимодействия с материнской породой обычно скрывают или смягчают климатические различия и затрудняют датирование грунтовых вод с использованием углерода-14. Тем не менее, в целом ряде несообщающихся водоносных горизонтов северного полушария было обнаружено четкое свидетельство климатических изменений – изменения в содержании дейтерия и кислорода-18, сопутствующие позднему гляциально-голоценовому переходу.

Кроме того, различные карбонатно-кальциевые отложения в карстовых пещерах – сталактиты, сталагмиты, натечные камни, носящие общее название спелеотемы, – потенциально могут иметь отношение к изотопной палеоклиматологии. Спелеотемы образуются очень медленно в результате протечки грунтовых вод в течение очень длительных периодов времени в условиях, близких к термодинамическому равновесию, и в среде, не испытывающей на себе воздействия очень резких сезонных изменений в температуре, уровне атмосферной влажности и изотопном составе воды и растворенной двуокиси углерода. Таким образом, только длительные климатические изменения могут повлиять на изотопный состав карбоната кальция и включений воды в спелеотемах, датирование которых обычно проводится с помощью метода неравновесности уранового ряда.

Другим материалом, пригодным для проведения палеоклиматических исследований, является растительное органическое вещество, содержание в котором изотопов кислорода и водорода в результате довольно сложной цепочки процессов и химических реакций связано с изотопным составом почвенной воды и осадков. Однако этот материал нужно использовать осторожно, т.к. он может также отражать изменения в условиях ограниченной окружающей среды, где растет это растение.

Атмосфера и модели планетарной циркуляции

Систематические измерения изотопного состава грунтовых вод, образовавшихся в результате просачивания (осадков, атмосферной влаги), помогают понять существующие связи между осадками и основными факторами, определяющими метеорологические условия и климат. Критически важную роль в этой области играет глобальная сеть станций дозиметрического мониторинга, совместно эксплуатируемая МАГАТЭ и Всемирной метеорологической организацией (ВМО) с начала 60-х годов; в станциях осуществляется ежемесячный отбор проб осадков в целях определения концентрации три-

тия, дейтерия и кислорода-18. Анализ большинства проб проводится в Лаборатории изотопной гидрологии в центральных учреждениях МАГАТЭ в Вене, а оставшаяся часть проб анализируется в нескольких совместно руководимых лабораториях. Следует заметить, что в последние годы число станций, для которых проводится анализ изотопного состава проб осадков, возросло, т.к. в ряде государств-членов МАГАТЭ были также созданы национальные сети дозиметрического мониторинга.

Эта уникальная база данных изотопного анализа, которая была накоплена в результате 30-летних наблюдений и продолжает расширяться, является основой для изучения изменений в изотопном составе осадков как с точки зрения локальных географических и метеорологических характеристик, так и планетарной атмосферной циркуляции. Изменение содержания стабильных изотопов является следствием изотопных эффектов, сопутствующих каждому этапу гидрологического цикла. Как уже упоминалось, температура является параметром, оказывающим наиболее сильное воздействие. (См. рис. 2.)

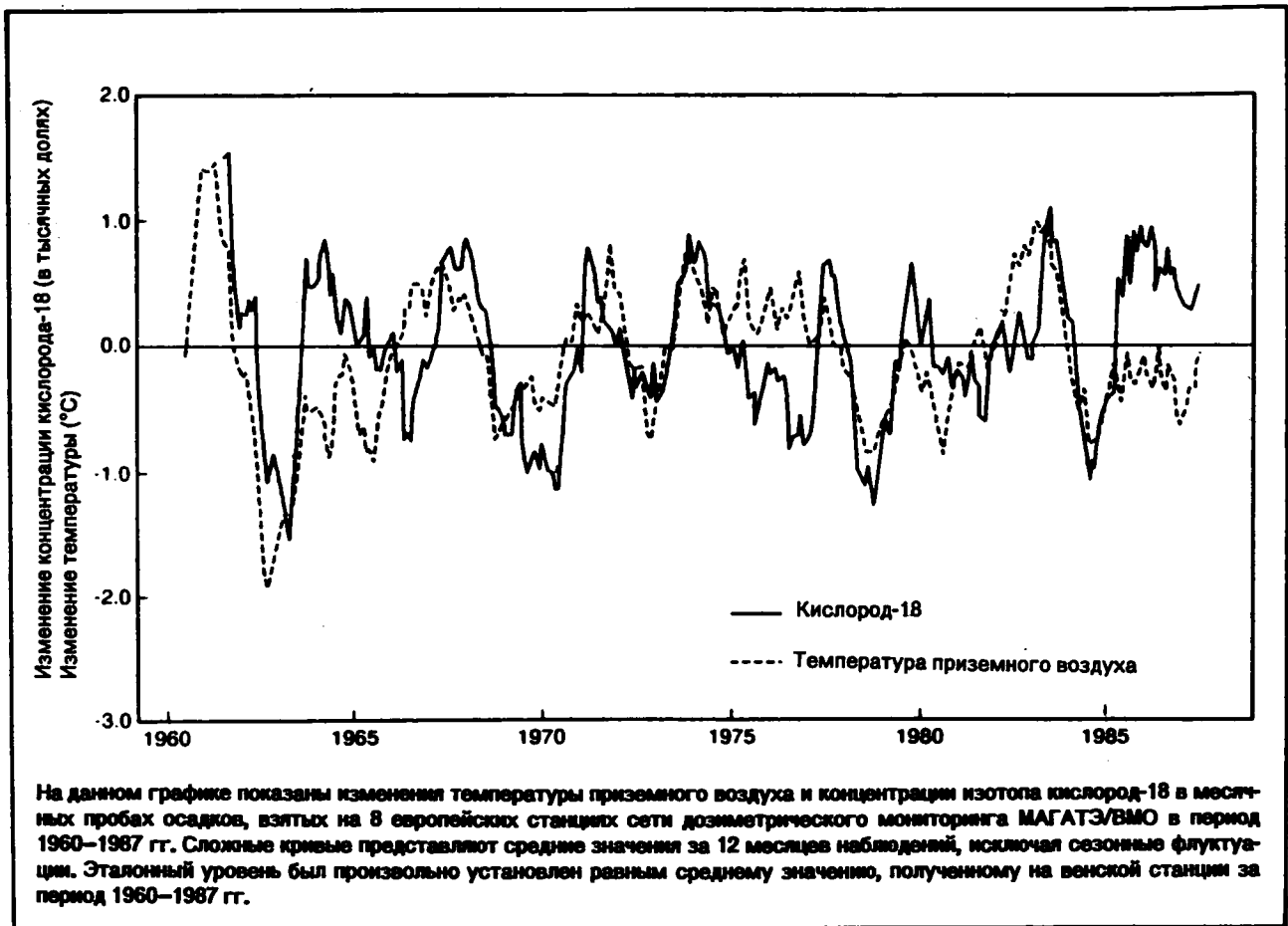
Схемы изменения содержания стабильных изотопов в осадках играют особенно полезную роль в разработке моделей глобальной циркуляции. С их помощью можно моделировать поведение всей атмосферной системы, включая ее взаимодействие с океаном, прогнозировать реакцию системы на различные внешние и внутренние факторы воздействия, такие как увеличивающаяся концентрация газов, обуславливающих парниковый эффект, и изменения в инсоляции.

Аналитический потенциал таких моделей зависит от правильной калибровки параметров, и в этом большую помощь могут оказать изотопы. Антропогенные радиоизотопы, например, тритий, появившийся в осадках после испытаний ядерного оружия, а также радиоактивный углерод в атмосферной двуокиси углерода и метане и криптон-85, попадающий в атмосферу с выбросами заводов по переработке отработавшего ядерного топлива, используются для изучения динамики системы океан-атмосфера, т.е. общих характеристик атмосферной и океанической циркуляций и их взаимодействия. Тритий и стабильные изотопы применяются в исследованиях переноса водных паров из одного полушария в другое и с одного континента на другой, а также для оценки доли суммарных испарений и изучения взаимосвязи между тропосферой и стратосферой. Радиоактивный углерод и углерод-13 помогают оценить вклад различных источников (биогенных в сравнении с органическими) в увеличение концентрации двуокиси углерода и метана в атмосфере, а также измерить их времена пребывания, поглощение теплоприемниками и обмен с океаном.

Международные исследования

Огромное количество полученных к настоящему времени различных изотопных данных свидетельствует о том, что природные изотопы являются мощным инструментом климатических исследований. В частности, они могут предоставить нам информацию о климате в прошлом, которую нельзя получить

Рис. 2. Длительные флуктуации изотопного состава осадков и температуры приземного воздуха.



каким-либо иным образом. В настоящее время климатические исследования с помощью изотопных методов проводятся многими лабораториями мира, конечной целью которых во многих случаях является тщательное изучение и подробное прогнозирование выявленных климатических изменений, результаты которых станут очевидными в следующем столетии.

До настоящего времени основная деятельность Агентства в области метеорологии и климата проводилась в рамках сети станций дозиметрического мониторинга МАГАТЭ/ВМО, анализирующих содержание изотопов в осадках и первоначально предназначенных для применения природных изотопов в гидрологических исследованиях. Кроме того, Агентство через свою Секцию изотопной гидрологии принимало активное участие в палеогидрологических исследованиях, т.к. они непосредственно связаны с оценкой водных ресурсов в странах с засушливым климатом, которые очень часто представляют собой палеоводы, т.е. запасы грунтовых вод, образовавшихся в далеком прошлом в более благоприятных климатических условиях.*

*См. „Исследования водных ресурсов пустыни: какую помощь могут оказать изотопы“, *Бюллетень МАГАТЭ*, т. 23, № 1 (1981 г.).

Кроме того, 10 лет назад было проведено совещание Консультативной группы по применению изотопных методов в палеоклиматических исследованиях водных ресурсов; материалы данного совещания были опубликованы МАГАТЭ под названием „Палеоклимат и палеоводы: сборник результатов исследований с использованием природных изотопов“. (STI/PUB/621)

В ближайшем будущем Отдел физических и химических наук МАГАТЭ планирует осуществить две программы координированных исследований (ПКИ), связанных с климатическими исследованиями. Цель первой программы, связанной с изучением изменения изотопного состава двуокиси углерода и других микрогазов в атмосфере, заключается в более глубоком понимании роли газов, обуславливающих парниковый эффект, и других микрогазов в глобальной экосистеме. Она предусматривает исследование их динамики и повышение уровня современных знаний о темпах выброса и поглощения этих газов в результате природных и антропогенных процессов. Как ожидается, реализация этой ПКИ начнется в 1991 г. после подготовительного совещания консультантов в декабре 1990 г.

Начало второй ПКИ запланировано на 1992 г., и ее внимание будет сфокусировано на реконструкции палеоклимата с использованием радиоизотопных индикаторов. В этом случае в конце 1991 г. также будет создано подготовительное совещание консультантов.