

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ СНЕГА И ЛЬДА В АНТАРКТИДЕ: КЛИМАТИЧЕСКИЙ СИГНАЛ И ПОСТДЕПОЗИЦИОННЫЙ ШУМ

А.А.ЕКАЙКИН, В.Я.ЛИПЕНКОВ, И.Н.СОКРАТОВА, А.В.ПРЕОБРАЖЕНСКАЯ
ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт

В статье приведен краткий обзор пространственной и временной зависимости между изотопным составом снега и температурой воздуха в Антарктиде для различных масштабов. Показано, что во всех случаях эти параметры обнаруживают тесную связь друг с другом, но коэффициент этой связи может существенно различаться. Отдельно рассмотрено влияние пост-депозиционных процессов, изменяющих первоначальный изотопный состав снежных осадков после их отложения в виде снежного покрова. Сделан вывод о том, что указанные процессы могут изменять или ослаблять изотопно-температурную зависимость, что имеет значение при палеотемпературной интерпретации данных об изотопном составе глубоких ледяных кернов.

ВВЕДЕНИЕ

Изотопный состав (δD и $\delta^{18}O$) осадков на протяжении почти полувека активно используется в климатологии и палеогеографии в качестве индикатора условий формирования атмосферной влаги [7]. Как теоретические исследования (см. обзор в [19]), так и экспериментальные данные [9] показывают, что между изотопным составом осадков и температурой их формирования существует твердая физическая зависимость. Более того, результаты моделирования изотопных преобразований влаги в атмосфере показывают, что коэффициент регрессии между температурой, при которой происходит образование осадков, и изотопным составом последних весьма слабо реагирует на изменение основных метеорологических характеристик. Этот вывод позволил использовать изотопный состав ледяных отложений полярных ледников для количественной реконструкции температурной истории Земли в далеком прошлом (см., например, [17]) применяя современную географическую изотопно-температурную зависимость. С другой стороны, коэффициенты временной регрессии между этими двумя параметрами далеко не всегда совпадают с коэффициентами соответствующей пространственной зависимости и сильно различаются для разных районов и разных временных масштабов. Наконец, независимые данные о прошлых колебаниях температуры в Антарктиде [15] и Гренландии [14] заставили усомниться в том, что «классический» изотопно-температурный метод позволяет корректно оценивать амплитуду палеотемпературных колебаний.

В настоящей работе приведен обзор имеющихся экспериментальных данных о связи изотопного состава твердых атмосферных осадков (и отложенного снега) в Антарктиде с температурой воздуха для различных пространственных (от локального до континентального) и временных (от внутригодового до многолетнего) масштабов и сделана попытка интерпретации соответствующих коэффициентов регрессии. Наряду с уже опубликованными, в статье представлен и ряд ранее не публиковавшихся данных. Отдельно в работе рассмотрены причины формирования «шума» в изотопных данных, в том числе и связанного с влиянием пост-

депозиционных (т.е. имеющих место в снежно-фирновой толще после отложения твердых осадков) процессов.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА СНЕГА В АНТАРКТИДЕ

Образцы поверхностного слоя снега, собранные на протяжении последних 30 лет национальными и международными научными и транспортными походами в различных районах Антарктиды, позволили выявить основные закономерности распределения изотопного состава твердых осадков в масштабах всего материка. В качестве примера на рис. 1 выборочно приведены некоторые данные, представляющие собой лишь незначительную часть имеющегося к настоящему времени объема информации.

Рисунок убедительно демонстрирует, что для каждого из рассмотренных районов Антарктиды коэффициент изотопно-температурной регрессии остается неизменным и равным $6 \text{‰}/^\circ\text{C}$ (здесь и далее все изотопные данные приведены для дейтерия). Этот коэффициент рассчитан для температуры фирна на глубине 10 м, являющейся приблизительной оценкой средней многолетней температуры приземного слоя воздуха. Пересчет указанного коэффициента для температуры инверсионного слоя атмосферы, где, предположительно, формируются антарктические осадки, дает величину $9 \text{‰}/^\circ\text{C}$ [13], что совпадает с теоретическими оценками. В то же время свободные члены уравнений регрессии различаются весьма существенно (до 50 ‰), что свидетельствует о наличии секторных различий. Это означает, что воздушные массы, приходящие в разные районы материка, сформированы при существенно различных метеорологических условиях.

Для иллюстрации изменчивости изотопного состава снега на региональном уровне рассмотрим распределение концентрации кислорода-18 в районе подледникового озера Восток (рис. 2). Представленные данные были собраны во время научных гляцио-геофизических походов начиная с 1999 г.

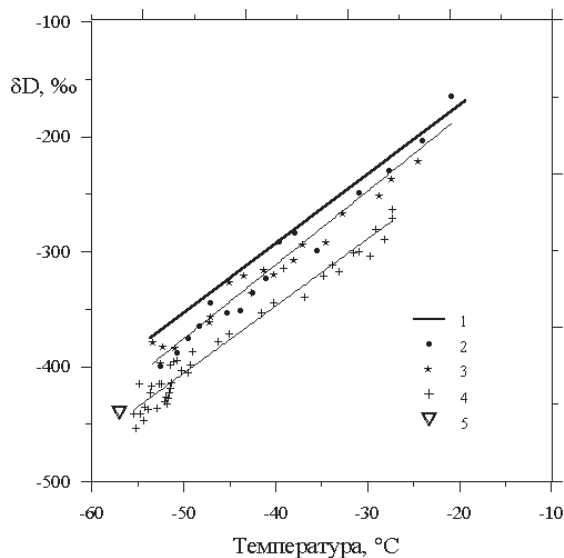


Рис. 1. Зависимость изотопного состава поверхностного слоя снежной толщи в Антарктиде от средней многолетней температуры воздуха: 1 – Земля Адели [16]; 2 – Мирный–Комсомольская [6]; 3 – Мирный–Комсомольская [2]; 4 – Пэтриот Хиллз–Восток [6]; 5 – станция Восток

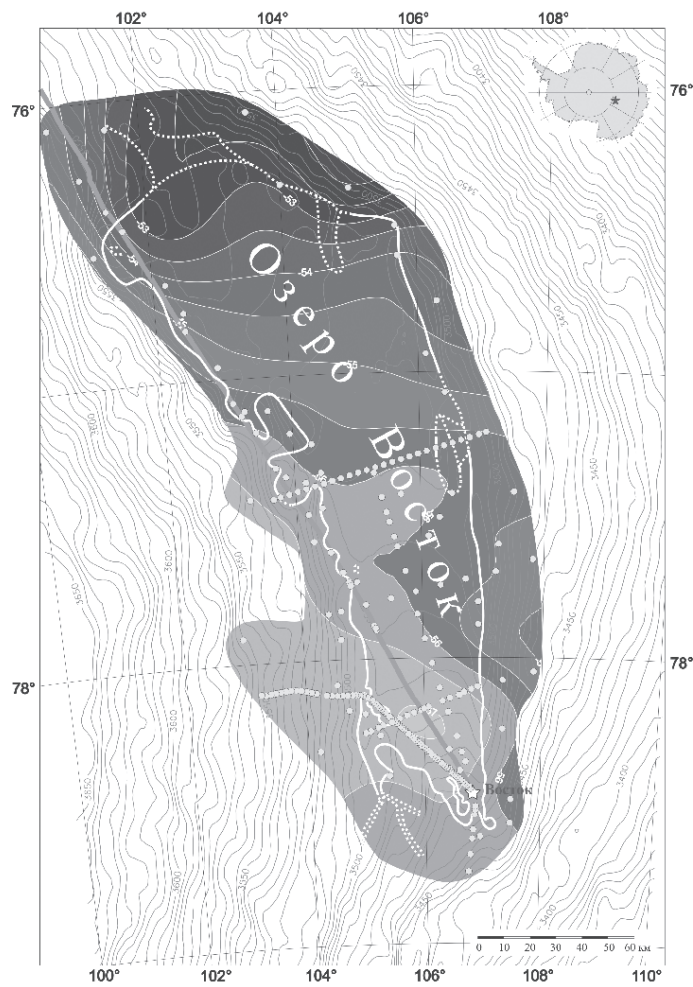


Рис. 2. Распределение изотопного состава ($\delta^{18}\text{O}$) в поверхностном слое снега в районе озера Восток. Светлыми кружками отмечены пункты отбора изотопных проб

Очевидно, что в первом приближении градиент изотопного состава поверхностного слоя снега направлен с юга на север, что согласуется с географической закономерностью, представленной на рис. 1. В то же время минимум изотопного состава наблюдается в районе станции Восток, а дальше к югу изотопный состав снега вновь повышается. Одна из наиболее вероятных интерпретаций этого наблюдения заключается в том, что ст. Восток располагается вблизи границы раздела воздушных масс, приходящих с Индийского и Тихого океанов. Это предположение связано с тем, что, согласно результатам моделирования [19], изотопный состав осадков понижается при движении воздушной массы в глубь материка. Несовпадение границы раздела масс с главным ледоразделом (проходящим к северу от района озера Восток) объясняется тем, что траектория воздушных масс контролируется не только рельефом поверхности ледника (имеющим очень малые углы наклонов в этом районе), но и расстоянием от побережья.

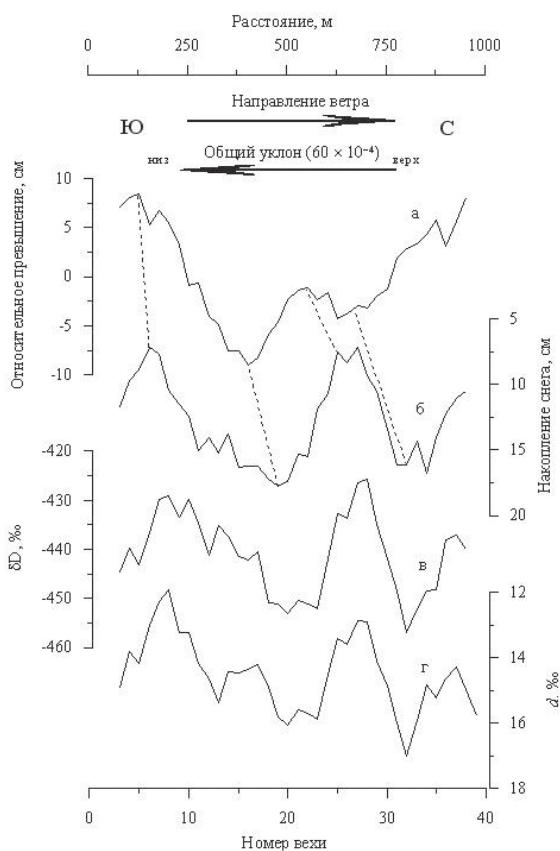


Рис. 3. Пространственная изменчивость высоты снежной поверхности, накопления и изотопного состава снега вдоль профиля СЮ снегомерного полигона по [8]:

a – профиль поверхности, измеренный в декабре 1999 г.; *b* – приrost снега за два года (1998 и 1999 гг.); *в* и *г* – профили средних значений δD и эксцесса дейтерия (*d*) в верхних 10 см снежной толщи. Все профили сглажены с периодом 125 м. Из профиля высоты снежной поверхности (*a*) удален тренд

Переходя к локальным вариациям изотопного состава поверхностного слоя снега, мы покидаем сферу влияния климатических факторов, поскольку очевидно, что локальная (в масштабе до нескольких километров) климатическая изменчивость в условиях Центральной Антарктиды является несущественной.

На рис. 3 представлен километровый профиль изотопного состава снега, полученный по образцам снега, отобраным на снегомерном полигоне ст. Восток. На графике отчетливо видны пространственные колебания изотопного состава снега, коррелирующие с профилем снегонакопления, а также связь последнего с высотой снежной поверхности [8].

По нашему мнению, представленные данные свидетельствуют о «рельефо-обусловленном» [4] происхождении указанных аномалий изотопного состава снега. Квазипериодические волны на поверхности снежного покрова (мезо-дюны) приводят к неоднородному отложению снега в процессе метелевого переноса, а неравномерное сезонное пространственное перераспределение снега формирует наблюдающиеся вариации изотопного состава (о чем свидетельствует профиль

эксцесса дейтерия на рис. 3). Миграция мезо-дюн приводит к формированию временных колебаний скорости накопления и изотопного состава снега при наблюдении в отдельно взятой точке, не связанных с климатическими вариациями. Таким образом, мезо-дюны, наряду с микрорельефом и более крупными формами рельефа (мега-дюнами), являются основным источником рельефообусловленного шума, затрудняющего интерпретацию данных по аккумуляции и изотопному составу снега. Доля этого шума в общей дисперсии ряда может составлять около 80 % для изотопного состава и более 90 % для снегонакопления. В работах [3, 4] изложены основные принципы, позволяющие отделить указанный шум от климатического сигнала. В частности, оптимальным методом является построение сводных рядов путем осреднения данных, полученных по отдельным точкам наблюдений (шурфам, вехам или кернам скважин).

ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

Наиболее наглядно временная зависимость изотопного состава осадков от температуры воздуха может быть продемонстрирована на примере сезонного (внутригодового) хода этих параметров, что связано со значительной годовой амплитудой метеорологических характеристик в Антарктиде.

На рис. 4 представлены средние месячные значения температуры воздуха в приземном слое по данным метеостанции Восток и значения изотопного состава осадков, отбравшихся на протяжении всего 2000-го года [3]. Коэффициент корреляции между температурой и изотопным составом значим и составляет 0,9, а коэффициент регрессии $2,1 \text{ ‰}/^{\circ}\text{C}$, что в 3 раза меньше соответствующего географического коэффициента. Показано [9], что это различие по большей части объясняется тем, что амплитуда температуры, при которой происходит формирование осадков, значительно меньше амплитуды приземной температуры воздуха. Например, если в качестве аппроксимации последней взять температуру в слое инверсии, то коэффициент регрессии будет равен $6,2 \text{ ‰}/^{\circ}\text{C}$. Вторым фактором, влияющим на изотопно-температурный градиент, являются сезонные изменения условий в источнике влаги, которые увеличивают годовую амплитуду изотопного состава осадков. Изменения условий в источнике влаги отражены в представленном на рис. 4 сезонном ходе эксцесса дейтерия.

Детальные гляциологические исследования снежно-фирновой толщи, выполненные в 8 шурфах в окрестностях ст. Восток [2, 8], позволили изучить климатическую изменчивость изотопного состава снега в этом районе Антарктиды за последние 60 лет.

На рис. 5 сводный, очищенный от рельефообусловленного шума, ряд изотопного состава снега за период с 1943 по 1998 г. сопоставлен с рядами средних годовых и средних летних температур приземного слоя воздуха. Коэффициент корреляции (около 0,6) оказался значим, а изотопно-температурный градиент равен более $20 \text{ ‰}/^{\circ}\text{C}$. Столь большой коэффициент регрессии объясняется незначительной амплитудой межгодовой изменчивости приземной температуры воздуха. Таким образом, либо изотопный сигнал усиливается относительно климатического сигнала, либо изотопный состав снега определяется не средней годовой температурой воздуха, а каким-то другим параметром. На сегодняшний день наиболее удовлетворительным объяснением наблюдающихся фактов является предположение о существенном пост-депозиционном изменении изотопного состава снега [5], что более подробно будет изложено в заключительной части настоящей работы. Отметим лишь, что наличие значимых коэффициентов корреляции и регрессии позволяет калибровать ряды изотопного состава снежной толщи на ст. Восток относительно средней годовой температуры воздуха и, таким образом, использовать изотопные данные для палеоклиматических реконструкций.

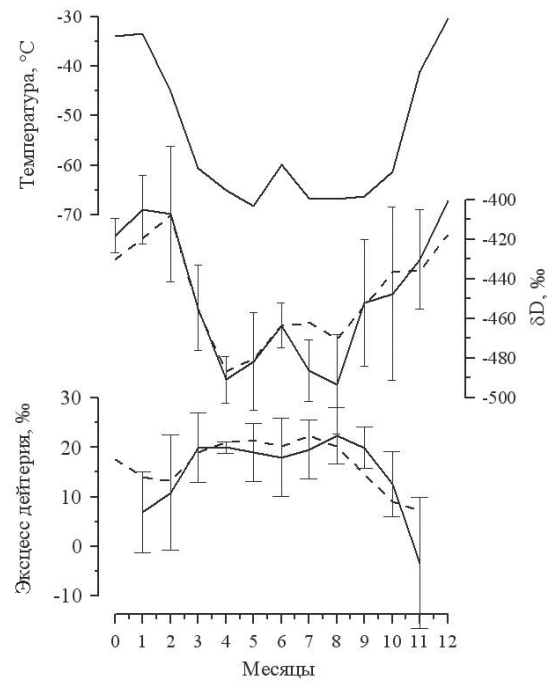


Рис. 4. Сопоставление сезонных вариаций изотопного состава осадков (δD и эксцесса дейтерия) с поверхностной температурой воздуха (сплошные линии) [10]. Пунктиром показан изотопный состав образцов переметенного снега. Вертикальные линии обозначают изменчивость (1σ) изотопного состава отдельных образцов осадков в пределах данного месяца. Эксцесс дейтерия ($d = \delta D - 8 \cdot ^{18}O$) в первом приближении отражает условия в источнике влаги

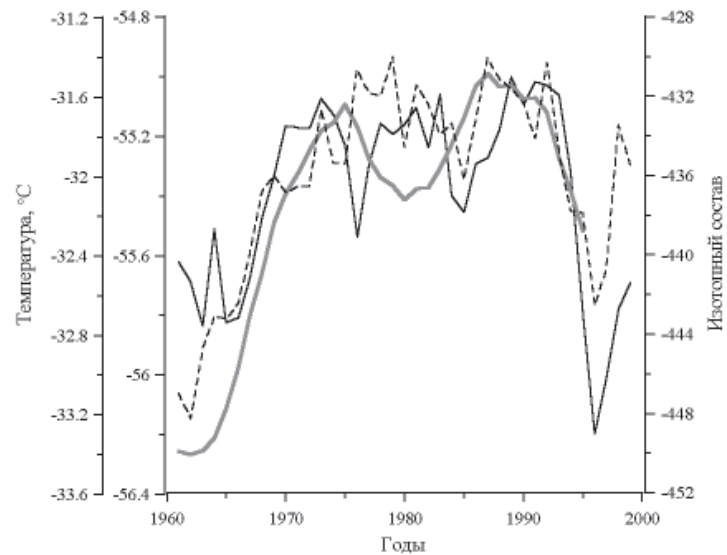


Рис. 5. Сопоставление изотопного состава снега в районе ст. Восток по данным 8 шурфов (жирная серая линия) со средними годовыми (сплошная черная линия) и летними (пунктирная линия) значениями температуры воздуха

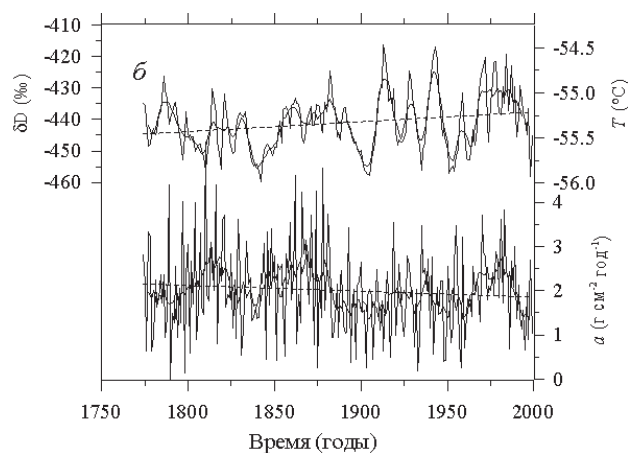


Рис. 6. Сводные ряды изотопного состава (δD) и накопления снега (a) по глубоким шурфам за период с 1775 по 1999 г. Тонкими линиями показаны исходные ряды, а жирными — ряды, сглаженные с периодом 7 лет. Пунктиры показывают линейные тренды рядов, определенные методом наименьших квадратов. Шкала температуры рассчитана по коэффициенту регрессии между δD и T , равному $28 \text{ ‰/}^\circ\text{C}$.

Такая реконструкция была проведена для периода с 1774 по 1999 г. по данным об изотопном составе снега из двух 12-метровых шурфов, вскрытых в районе станции в декабре 1999 — январе 2000 гг. [3, 4]. Полученные результаты представлены на рис. 6.

Прежде всего, следует отметить устойчивую корреляцию между сглаженными рядами скорости накопления и изотопного состава снега, что подтверждает климатическую природу последнего. Положительный знак корреляции также не противоречит современным климатологическим представлениям о связи температуры воздуха и количества осадков в Антарктике [1]. Наиболее характерной особенностью обоих рядов является отчетливо выраженный 50-летний цикл [3], причем размах колебаний изотопного состава в пределах этого цикла составляет $25\text{--}30 \text{ ‰}$, что всего лишь втрое меньше годовой амплитуды этого параметра на ст. Восток. Последний минимум цикла наблюдался в конце 90-х годов XX века. Считается, что происхождение указанной полувековой периодичности связано с колебаниями циклонической активности в Южном полушарии [3]. Примечательно, что вариации изотопного состава и снегонакопления на ст. Восток коррелируют с индексом Тихоокеанского колебания, что свидетельствует о существовании «дальней климатической связи» между Центральной Антарктидой и тропической зоной Тихого океана [10].

Другой особенностью 200-летнего изотопного ряда является слабый (около 7 ‰ , что эквивалентно порядка $0,3 \text{ }^\circ\text{C}$), но статистически значимый положительный тренд изотопного состава снега, что свидетельствует о потеплении климата на протяжении последних двух веков, подтверждаемом данными из других районов Антарктиды (см. обзор в [3]).

ПОСТДЕПОЗИЦИОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА СНЕГА И ЛЬДА

Как указано выше, под пост-депозиционными изменениями изотопного состава снега и льда мы подразумеваем изотопные преобразования, имеющие место после отложения твердых осадков на поверхности снежного покрова. Суть этих преобразований в условиях ст. Восток заключается, в основном, в изотопном обмене между

водяным паром атмосферы и снегом, заключенным в пределах верхней части снежной толщи [21]. Интенсивность обмена зависит, в первую очередь, от двух параметров: от скорости накопления снега и температуры. Скорость снегонакопления определяет время, в течение которого данный слой снега находится в пределах верхней части снежной толщи, наиболее подверженной пост-депозиционным изменениям. Соответственно, чем ниже скорость накопления снега, тем эти изменения сильнее. Как указывают Уоддингтон с соавторами, при некоторой критически низкой скорости снегонакопления изотопный обмен между снежной толщиной и атмосферой приведет к их изотопному уравниванию и полному стиранию первоначального климатического сигнала [21]. Другим фактором является температура воздуха, которая определяет количество содержащегося в атмосфере водяного пара. Чем выше температура, тем интенсивнее идет процесс изотопного обмена. Именно поэтому величина пост-депозиционного изменения изотопного состава снега определяется в основном летней, а не средней годовой температурой воздуха.

В процессе вертикального переноса водяного пара по воздушным порам внутри снежной толщи и сопутствующих этому многократных фазовых преобразований происходит сглаживание амплитуды изотопного сигнала [11, 12]. С глубиной, по мере замыкания воздушных пор и уменьшения вертикальных градиентов температуры, скорость этой «изотопной гомогенизации» резко снижается.

В части, касающейся изотопной гомогенизации снежно-ледяной толщи, процесс пост-депозиционного изменения изотопного состава снега изучен относительно хорошо [12]. Однако до сих пор по умолчанию предполагалось, что диффузионное сглаживание не изменяет среднего изотопного состава снежной толщи. С другой стороны, изотопный обмен между снежной толщиной и атмосферой предполагает подобные изменения.

Прямых доказательств изотопного обмена между снежной толщиной и атмосферой в районе ст. Восток к настоящему времени не существует, однако имеется несколько косвенных признаков, указывающих на возможность этого процесса.

Во-первых, как показано выше, изотопный состав снега на ст. Восток гораздо теснее связан со средними летними температурами воздуха (коэффициент корреляции 0,9), чем со средними годовыми. Коэффициент регрессии для летней температуры равен около $11 \text{ ‰/}^\circ\text{C}$, что значительно ближе к пространственному изотопно-температурному градиенту, чем коэффициент регрессии для средней годовой температуры.

Во-вторых, как показано в [5], временной ряд изотопного состава снега по данным шурфов хорошо согласуется с историей изменения «эффективной» температуры снежной толщи за последние 50 лет, восстановленной по данным термических исследований в скважинах, пробуренных в районе ст. Восток. Иными словами, изотопный состав снега отражает скорее не среднюю годовую температуру воздуха, а температуру верхнего слоя снежно-фирновой толщи, влияющую, с одной стороны, на формирование вертикального профиля температуры этой толщи, а с другой стороны – на интенсивность пост-депозиционных процессов в ней. Изотопно-температурный градиент по данным этой работы ($3,6 \text{ ‰/}^\circ\text{C}$) хоть и меньше соответствующего географического градиента, но близок коэффициенту регрессии между температурой поверхности ледника и изотопным составом ледяного керна по результатам температурных исследований в глубоких скважинах [18, 20].

В заключение этого раздела можно добавить, что интенсивность пост-депозиционных процессов могла меняться в прошлом благодаря климатическим изменениям температуры воздуха и, главным образом, скорости накопления снега. Например, в эпоху максимума последнего оледенения (МПО) скорость снегонакопления в районе ст. Восток могла быть вдвое ниже, чем в современную эпоху [18], что подразумевает гораздо более интенсивный изотопный обмен между

атмосферой и подстилающей поверхностью. В настоящее время количественно оценить этот эффект достаточно трудно, но предварительные оценки [9] показывают, что за счет изменения интенсивности постдепозиционных процессов видимый изотопный переход от МПО к голоцену мог уменьшиться на 12 ‰, что составляет 20–25 % от наблюдаемой величины этого перехода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный обзор данных о пространственной и временной изменчивости изотопного состава снега в Центральной Антарктиде демонстрирует целесообразность использования изотопного состава осадков и отложенного снега как инструмента для климатологических и палеографических исследований. Помимо данных о температуре воздуха в районе конденсации влаги, изотопный состав несет в себе информацию о путях поступления воздушных масс, о метеорологических условиях в источнике влаги. В районах с относительно большой скоростью накопления снега (краевые зоны Антарктиды, Гренландия) данные об изотопном составе ледяных кернов успешно используются для датирования ледниковой толщи путем подсчета годовых слоев.

С другой стороны, помимо климатического сигнала, временным рядам изотопного состава, как и другим характеристикам снега, свойственен различного рода шум. В настоящее время мы выделяем два основных источника этого шума: «рельефообусловленный» и пост-депозиционный. Первый из них исследован относительно хорошо и связан с неравномерным отложением снега в ходе метелевого переноса свежеснеговых осадков. Второй источник шума связан с изменением изотопного состава после отложения снега за счет изотопного обмена снежной толщи с атмосферой и диффузии молекул воды внутри самой толщи. Количественная оценка указанных изменений требует дополнительных исследований, однако косвенные данные свидетельствуют о том, что пост-депозиционные процессы играют важную роль в формировании вертикального профиля изотопного состава снега и льда на ст. Восток и, вероятно, в других районах Центральной Антарктиды.

Настоящая работа выполнена в рамках Проекта 4 подпрограммы «Изучение и исследование Антарктики» ФЦП «Мировой океан» при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 05-05-66803 НЦНИЛа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аверьянов В.Г.* Гляциоклиматология Антарктиды. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 200 с.
2. *Екайкин А.А., Липенков В.Я., Барков Н.И., Пети Ж.Р., Массон В.* Изотопный состав поверхностного слоя снежной толщи в районе станции Восток, Центральная Антарктида // *Материалы гляциол. исследований.* 2001. Вып. 90. С. 69–79.
3. *Екайкин А.А., Липенков В.Я., Барков Н.И., Пети Ж.Р., Массон-Дельмот В.* 50-летний цикл в изменениях аккумуляции и изотопного состава снега на станции Восток // *Материалы гляциол. исследований.* 2003. Вып. 94. С. 163–173.
4. *Екайкин А.А., Липенков В.Я.* «Рельефообусловленные» колебания характеристик снежной толщи в Антарктиде // *Материалы гляциол. исследований.* 2004. Вып. 97. С. 35–43.
5. *Липенков В.Я., Шибяев Ю.А., Саламатин А.Н., Екайкин А.А., Вострецов Р.Н., Преображенская А.В.* Современные климатические изменения, зарегистрированные в вариациях температуры верхнего 80-метрового слоя ледниковой толщи на станции Восток // *Материалы гляциол. исследований.* 2004. Вып. 97. С. 44–56.
6. *Dahe Q., Petit J.R., Jouzel J., Stievenard M.* Distribution of stable isotopes in surface snow along the route of the 1990 International Trans-Antarctic Expedition // *Journal of Glaciology.* 1994. Vol. 40(134). P. 107–118.

7. Dansgaard W. Stable isotopes in precipitation // *Tellus*. 1964. Vol. 16. P. 436–468.
8. Ekaykin A.A., Lipenkov V.Y., Barkov N.I., Petit J.R., Masson-Delmotte V. Spatial and temporal variability in isotope composition of recent snow in the vicinity of Vostok Station // Implications for ice-core interpretation. *Annals of Glaciology*. 2002. Vol. 35. P. 181–186.
9. Ekaykin A.A. Meteorological regime of central Antarctica and its role in the formation of isotope composition of snow thickness. PhD thesis, Universite Joseph Fourier, Grenoble, 2003. 136 p.
10. Ekaykin A.A., Lipenkov V.Y., Kuzmina I.N., Petit J.R., Masson-Delmotte V., Johnsen S. The changes in isotope composition and accumulation of snow at Vostok Station over the past 200 years // *Annals of Glaciology*. 2004. Vol. 39. P. 569–575.
11. Johnsen S.J. Stable isotope homogenization of polar firn and ice, in *Isotopes and Impurities in Snow and Ice* // International Association for Hydrological Sciences, publ. 118, Surrey, 1977. P. 210–219.
12. Johnsen S.J., Clausen H.B., Cuffey K.M., Hoffmann G., Schwander J., Creyts T. Diffusion of stable isotopes in polar firn and ice // The isotope effect in firn diffusion, in *Physics of Ice Core Records*. Hokkaido University Press, Sapporo, 2000. P. 121–140.
13. Jouzel J., Merlivat L. Deuterium and oxygen 18 in precipitation: modeling of the isotopic effects during snow formation // *Journal Geophys. Res.* 1984. Vol. 89 (D7). P. 11749–11757.
14. Jouzel J., Alley R.B., Cuffey K.M., Dansgaard W., Grootes P., Hoffmann G., Johnsen S.J., Koster R.D., Peel D., Shuman C.A., Stievenard M., Stuiver M., White J. Validity of the temperature reconstruction from water isotopes in ice cores // *Journal Geophys. Res.* 1997. Vol. 102 (C12). P. 26471–26487.
15. Jouzel J., Vimeux F., Caillon N., Delaygue G., Hoffmann G., Masson-Delmotte V., Parrenin F. Magnitude of isotope/temperature scaling for interpretation of central Antarctic ice cores // *Journal Geophys. Res.* 2003. Vol. 108 (D12). ACL 6-1-6.
16. Lorius C., Merlivat L. Distribution of mean surface stable isotope values in East Antarctica: observed changes with depth in the coastal area // *Isotopes and Impurities in Snow and Ice*, International Association for Hydrological Sciences, publ. 118, Surrey, 1977. P. 127–137.
17. Petit J.R., Jouzel J., Raynaud D., Barkov N.I., Barnola J.M., Basile I., Bender M., Chappellaz J., Davis M., Delaygue G., Delmotte M., Kotlyakov V.M., Legrand M., Lipenkov V.Y., Lorius C., Pepin L., Ritz C., Saltzman E., Stievenard M. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica // *Nature*, 1999. Vol. 399. P. 429–436.
18. Salamatin A.N., Lipenkov V.Y., Barkov N.I., Jouzel J., Petit J.R., Raynaud D. Ice-core age dating and paleothermometer calibration on the basis of isotope and temperature profiles from deep boreholes at Vostok Station (East Antarctica) // *Journal Geophys. Res.* 1998. Vol. 103 (D8). P. 8963–8977.
19. Salamatin A.N., Ekaykin A.A., Lipenkov V.Y. Modelling isotopic composition in precipitation in Central Antarctica // *Материалы гляциологических исследований*. 2004. Т. 97. С. 24–34.
20. Tyganova E.A., Salamatin A.N. Non-stationary temperature field simulation along the ice flow line «ridge B – Vostok Station», East Antarctica // *Материалы гляциологических исследований*. 2004. Т. 97. С. 57–70.
21. Waddington E.D., Steig E.J., Neumann T.A. Using characteristic times to assess whether stable isotopes in polar snow can be reversibly deposited // *Annals of Glaciology*. 2002. Vol. 35. P. 118–124.

A.A.EKAYKIN, V.YA.LIPENKOV, I.N.SOKRATOVA, A.V.PREOBRAZHENSKAYA

ISOTOPIC COMPOSITION OF SNOW AND ICE IN ANTARCTICA: CLIMATE SIGNAL AND POST-DEPOSITIONAL NOISE

A short review of the spatial and temporal relationships between snow isotopic composition and air temperature in Antarctica is given for different scales. It is shown that in all cases these two parameters are closely related, but with considerably varying slope. The influence of post-depositional processes altering the initial isotopic composition of precipitation after their deposition in snow thickness is considered as well. The conclusion is made that the mentioned processes may change or weaken the isotope-temperature gradient, which may affect the paleo-temperature interpretation of deep ice core isotopic records.