

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балденко Д.Ф., Балденко Ф.Д., Гноевых А.Н. Одновинтовые Гидравлические машины: В 2 т. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2005. – Т. 1. Одновинтовые насосы. – 488 с.
2. Двигатель винтовой забойный Д1-195. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – Бердичев: Типография завода «Прогресс», 1985. – 30 с.
3. Балденко Д.Ф., Балденко Ф.Д., Гноевых А.Н. Одновинтовые Гидравлические машины: В 2 т. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2007. – Т. 2. Винтовые забойные двигатели. – 470 с.
4. Лицензионное соглашение между ANSYS Inc и ТюмГНГУ от 1.02.2008 на программный продукт ANSYS Academic Teaching Introductory (25 tasks), версия 11 SP1, номер пользователя 340011.
5. Сызранцева К.В. Компьютерный анализ нагруженности и деформативности элементов нефтегазового оборудования. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2009. – 124 с.
6. Сызранцева К.В., Аришин В.А. Расчет напряженно-деформированного состояния статора винтового забойного двигателя // Новые информационные технологии в нефтегазовой отрасли и образовании: Матер. III Междунар. конф. – Тюмень, 2008. – С. 95–96.
7. Сызранцева К.В., Аришин В.А., Дыкун П.А., Сапрыгин А.В. Методика оценки работоспособности винтового забойного двигателя в программном комплексе ANSYS // Современные технологии для ТЭК Западной Сибири: Сб. научн.тр. – Тюмень, 2009. – С. 317–321.
8. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженера: Справочное пособие. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 512 с.

Поступила 30.06.2009 г.

УДК 519.688:53.083.98

АЛГОРИТМ СИНХРОНИЗАЦИИ ХРОНОЛОГИЧЕСКИХ РЯДОВ

Ю.В. Волков, В.А. Тартаковский

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск

E-mail: tv@imces.ru

На примере датировки изотопных хронологий ледниковых кернов по известным древесно-кольцевым изотопным хронологиям рассмотрен алгоритм восстановления временных периодичностей сигналов.

Ключевые слова:

Биоиндикация, дендрохронология, годовые кольца, сезонный рост, математическая модель, анализ сигналов, датировка.

Key words:

Bioindication, dendrochronology, tree rings, seasonal growth, mathematical model, signal analysis, dating.

Введение

В силу отсутствия прямых измерений традиционных характеристик климата до определенного момента времени и для определенной территории актуальна возможность восстановления данной информации из природных объектов, являющихся индикаторами климатических изменений. Длительные ряды биоиндикационных данных создают объективные основы для ретроспективного анализа и прогноза таких изменений.

Важной задачей при восстановлении хронологий параметров климата является установление временных границ и периодичностей. Биоиндикационные ряды не всегда имеют четкие границы между отдельными годами, присутствует также временное смещение информации, обусловленное различными природными процессами и особенностями индикатора. Для привязки соответствующего отрезка хронологии к временной шкале прибегают к датировке различными естественнонаучными методами.

В данной статье искаженную в результате физических особенностей и природных процессов, по-

лученную из кернов льда, изотопную $\delta^{18}\text{O}$ -хронологию синхронизируют с длительной древесно-кольцевой $\delta^{18}\text{O}$ -хронологией, которая привязана к временной шкале с точностью до года. Особенность данного метода в том, что он дает возможность непрерывного датирования рядов данных на всем временном интервале эталонного ряда.

Изотопы кислорода фиксируются в древесине годовых колец, в слоях ледников, а отношение их концентраций зависит от температуры воздуха. В результате, уникальную информацию о характеристиках климата, в том числе и о химическом составе атмосферы, минеральных и органических осадках и др. за прошлые столетия, которая содержится в ледовых кернах, становится возможным точно сопоставлять во времени и прогнозировать.

Постановка задачи

Изотопные данные используются в виде $\delta^{18}\text{O} = 10^3 (R_p - R_{\text{SMOW}}) / R_{\text{SMOW}} \%$, отражающем соотношение изотопов в пробе древесины, $R_p = ({}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O})_p$, по отношению к стандарту SMOW (Standard Mean Ocean Water), $R_{\text{SMOW}} = ({}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O})_{\text{SMOW}}$.

Анализируемые изотопные древесно-кольцевая и ледовая хронологии характеризуют изменения одной и той же физической величины – концентрации изотопа кислорода ^{18}O во времени в двух достаточно удаленных точках на земной поверхности (рис. 1). Рассчитанный для данных рядов коэффициент корреляции равен $-0,07$.

Необходимо сопоставить ледовую изотопную $\delta^{18}\text{O}$ -хронологию, полученную из кернов льда скважины GISP2 (Гренландия) [1], с наиболее длительной (650 лет) древесно-кольцевой изотопной $\delta^{18}\text{O}$ -хронологией DAV (Байкальский хребет). Принимается во внимание то, что древесно-кольцевые хронологии имеют абсолютную календарную датировку, в то время как ледовые хронологии не имеют реального погодичного разрешения.

Несмотря на то, что вышеописанные экспериментальные данные разнесены географически, они не противоречат гипотезе о наличии естественного механизма синхронизации хронологий, который может быть обусловлен глобальностью полезного сигнала, а также его временным и пространственным усреднением.

Изотопные характеристики кернов льда из гренландской скважины GISP2 используют для выявления изменений климата в Северном полушарии в настоящее время и в далеком прошлом [1]. Датировка ледовых кернов производилась путем вычисления отношения «глубина/возраст» с использованием различных методов и параметров: путем визуальной стратиграфии, расчетом концентрации стабильных изотопов кислорода и главных анионов и катионов, электропроводности, радиоуглеродным датированием и т. д. [2, 3]. Тем не менее, установить точное соответствие слоев ледового керна календарным годам не удалось. Погрешность оценки возраста слоев льда составляет около 2 % для временного периода 0...11640 лет от настоящего времени [2].

Устранение этих погрешностей возможно применением для корректировки ледовых хронологий других длительных палеохронологий [4]. В данном случае древесно-кольцевые изотопные $\delta^{18}\text{O}$ -хроно-

логии имеют абсолютную датировку и могут стать репером для ледовых хронологий. Использование такого параметра, как ширина годичного кольца из древесно-кольцевых хронологий Субарктики Евразии для корректировки ледовых изотопных хронологий Гренландии, показало разумность данного подхода [5]. Целесообразно использование для этих целей и древесно-кольцевых изотопных $\delta^{18}\text{O}$ -хронологий, которые были получены для Северной Евразии [6].

Алгоритм датировки

Исходные изотопные хронологии рассматриваются как смесь полезного климатического сигнала и шума. Шум связан с естественными локальными флуктуациями концентраций изотопа кислорода, с сезонными особенностями фиксации изотопов в леднике и в древесине, и др. Однако более значимым источником шума является погрешность в датировке слоев ледовых кернов [7]. Модель этой погрешности представим как некоторую трансформацию временной шкалы, путем ее сжатия и растяжения, но без разрывов и смещений. В рамках предлагаемой модели предполагается, что неправильная датировка кернов льда приводит к десинхронизации хронологий, которая может быть продемонстрирована на фрагментах обеих хронологий, сглаженных по методу наименьших квадратов полиномом шестого порядка (рис. 2).

Синхронизовать хронологии можно путем применения обратной трансформации временной шкалы. Такие подходы обсуждались и применялись ранее [7–9]. В данной работе для решения задачи разработана новая вычислительная процедура на основе алгоритма «сжатие-растяжение» [9, 10], который реализует однозначное, непрерывное и обратимое преобразование колебательного процесса. Применение данной процедуры к фрагментам изотопных хронологий (рис. 2) позволило увеличить коэффициент корреляции с 0,6 до 0,8.

На первом этапе процедуры автоматически определяются две последовательности координат значимых экстремумов обеих хронологий. При

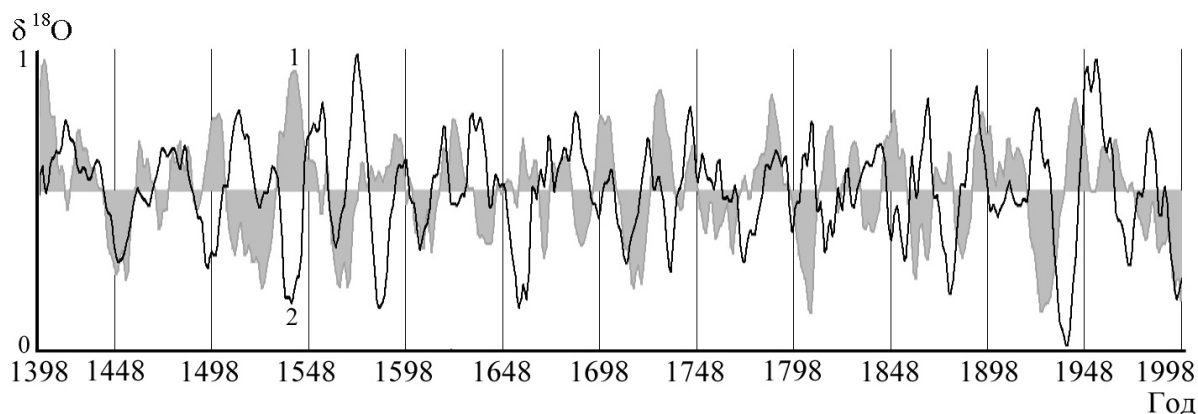


Рис. 1. Одиннадцатилетние нормированные средние значения концентраций изотопа кислорода $\delta^{18}\text{O}$: 1) древесина (силуэт); 2) лед (сплошная линия)

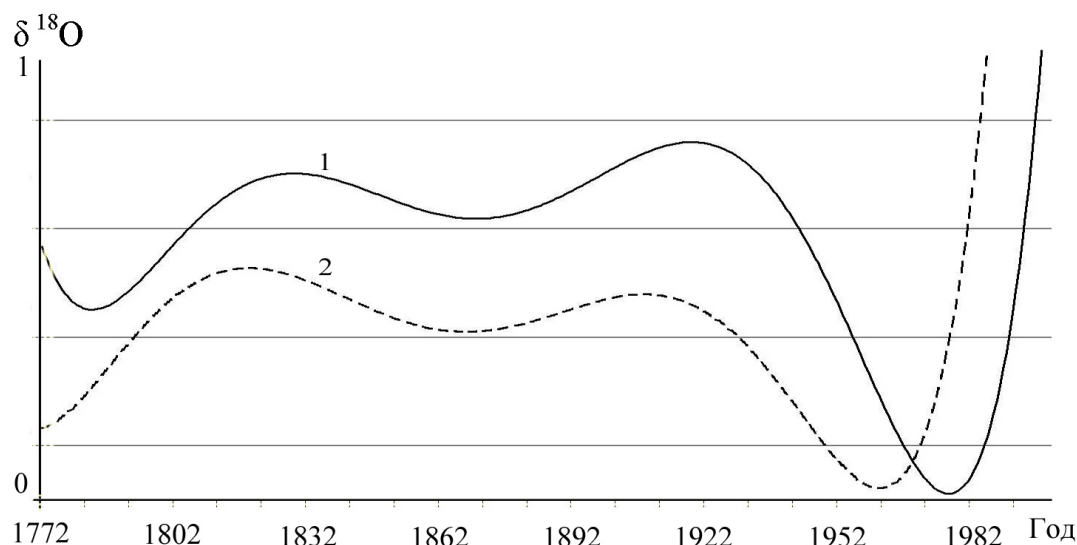


Рис. 2. Фрагменты изотопных хронологий $\delta^{18}\text{O}$: 1) древесно-кольцевой (сплошная) и 2) ледовой (штрих)



Рис. 3. Прямые ϕ и обратные ϕ^{-1} фазовые функции изотопных хронологий, используемые в операции «сжатие-растяжение», биссектриса квадранта удалена: 1, 2) ледовая хронология (сплошная линия); 3, 4) древесно-кольцевая хронология (штриховая линия)

этом имеется возможность интерактивного редактирования этих последовательностей. Затем обе последовательности интерполируются сплайнами и получают функции имеющие смысл фаз ϕ хронологий, как колебательных процессов. Для полученных

функций фаз находят обратные функции путем вращения исходных фаз вокруг биссектрисы первого квадранта системы координат (рис. 3). Все эти операции возможны, когда функции фаз априорно монотонны и имеют ограниченную производную.

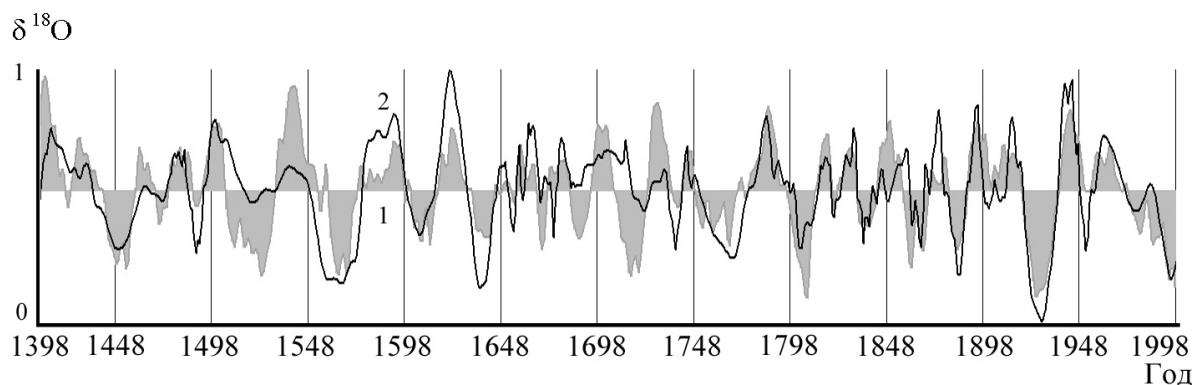


Рис. 4. Одиннадцатилетние нормированные средние значения концентраций изотопа $\delta^{18}\text{O}$ для 1) древесины (силуэт); 2) льда (сплошная линия)

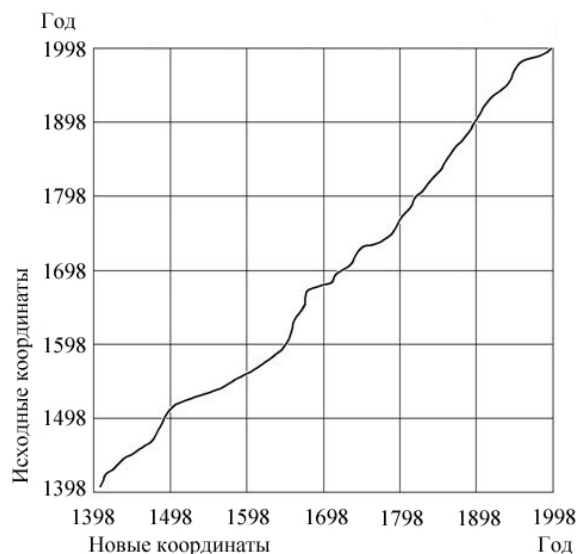


Рис. 5. Кривая перевода исходных временных координат для ледовой изотопной $\delta^{18}\text{O}$ -хронологии в новые временные координаты

На рис. 3 по оси абсцисс отложены годы, вглубь от настоящего времени; на оси ординат величина смещения в долях длительности хронологии.

На втором этапе вычислений производится прямая операция «сжатие-растяжение» ледовой хронологии (GISP2). При этом используется ее обратная фаза. Затем выполняется обратная операция «сжатие-растяжение» с использованием фазы для древесно-кольцевой хронологии (DAV). Тем самым обе хронологии синхронизируются, путем пе-

ревода ледовой изотопной хронологии во временные координаты древесно-кольцевой хронологии (рис. 4).

По результатам датировки предлагаемым методом рассчитанный коэффициент корреляции хронологий увеличился от $-0,07$ до $0,66$.

Последний этап вычислений предназначен для получения кривой пересчета исходных дат ледовой хронологии в новые временные координаты (рис. 5).

Заключение

Применение алгоритма «сжатие-растяжение» для датировки ледовой изотопной хронологии по абсолютно датированной древесно-кольцевой изотопной хронологии обосновано гипотезой о наличии природного механизма синхронизации хронологий.

Модель погрешности датировки, имеет вид сжатия и растяжения во времени колебательного процесса, представляющего хронологию.

Разработанный алгоритм датирования хронологий показал возможность корректировки ледовых изотопных хронологий по древесно-кольцевым изотопным хронологиям. В качестве критерия оценки качества датировки использован коэффициент корреляции хронологий, который увеличился от $-0,07$ до $0,66$.

В результате датировки установлено, что наибольшее смещение преобразованной ледовой изотопной хронологии относительно исходной составило 50 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Alley R.B., Shuman C.A., Meese D.A., Gow A.J., Taylor K.C., Cuffey K.M., Fitzpatrick J.J., Grootes P.M., Zielinski G.A., Ram M., Spinelli G., Elder B.C. Visual-stratigraphic dating of the GISP2 ice core: Basic, reproducibility, and application // *Journal of Geophysical Research*. – 1997. – № 102. – P. 26367–26381.
- Meese D.A., Alley R.B., Fiacco R.J., Germani M.S., Gow A.J., Grootes P.M., Illing M., Mayewski P.A., Morrison M.C., Ram M., Taylor K.C., Yang Q., Zielinski G.A. Preliminary depth-agescale of the GISP2 ice core // *Special CRREL Report 94-1*. – 1994. US.
- Schwander J. Dating ice cores // *PAGES News*. – 2006. – V. 14. – № 1. – P. 21–22.
- Сидорова О.В., Наурзбаев М.М., Ваганов Е.А. Динамика климата позднего голоцена севера Евразии по данным ледниковых кернов Гренландии и длительных древесно-кольцевых хронологий // *Известия РАН. Серия география*. – 2007. – № 1. – С. 95–106.
- Наурзбаев М.М. Дендроклиматический анализ длительных изменений температурного режима в Субарктике Евразии: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. – Красноярск, 2005. – 38 с.
- Хантемиров Р.М. Древесно-кольцевая реконструкция летних температур на севере Западной Сибири за последние 3248 лет // *Сибирский экологический журнал*. – 1999. – № 2. – С. 185–191.
- Southon J. A first step to reconciling the GRIP and GISP2 Ice-Core chronologies // *Quaternary Research*. – 2002. – № 57. – P. 32–37.
- Тартаковский В.А. Условия причинности и демодуляция оптических сигналов с монотонной фазой // *Оптика атмосферы и океана*. – 2002. – Т. 15. – № 1. – С. 91–100.
- Тартаковский В.А., Исаев Ю.Н., Несветайло В.Д., Волков Ю.В., Попов В.Н. Математическая модель радиального сечения годичных колец деревьев // *Автометрия*. – 2003. – Т. 38. – № 5. – С. 118–127.
- Тартаковский В.А., Волков Ю.В., Попов В.Н., Ботыгин И.А. Исследование численного алгоритма операции «Сжатие-растяжение» применяемой для восстановления биоиндикационных данных // *Известия Томского политехнического университета*. – 2009. – Т. 309. – № 3. – С. 170–174.

Поступила 27.10.2009 г.