

РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ
ИЗОТОПОВ
В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ
И АСТРОФИЗИЧЕСКИЕ
ЯВЛЕНИЯ

Ленинград
1984


АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ОРДЕНА ЛЕНИНА ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. А. Ф. ИОФЕ - 20

РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ ИЗОТОПОВ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ
И АСТРОФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

(Тематический сборник)

Ленинград
1984

Содержание

1. Г.Е.КОЧАРОВ, Н.И.АКАТОВА, В.Б.АЛЕКСЕЕВ, Т.Т.БИТВИНСКАС, В.А.ВАСИЛЬЕВ, А.Н.КОНСТАНТИНОВ, Ю.Н.МАРКОВ, Р.Я.МЕЦХВАРИШВИЛИ, С.Л.ЦЕРЕТЕЛИ, В.П.ШАХОВ. 11-ти и 22 ^х -летние циклы до, во время и после маундеровского минимума солнечной активности	5
2. В.М.ОСТРЯКОВ. Проявления долговременных вариаций космических лучей в радиоуглеродных данных.	25
3. В.А.ЛЕВЧЕНКО, А.В.БЛИНОВ. Расчёт скорости образования радиоизотопов в атмосфере Земли	61
4. Т.Т.БИТВИНСКАС. Дендрохронология на службе проблемы "Астрофизические явления и радиоуглерод"	75
5. Т.Т.БИТВИНСКАС, Р.Я.МЕЦХВАРИШВИЛИ, А.В.СТУПНЕВА. Солнечная активность, радиоуглерод и радиальный прирост.	84
6. В.И.ЧЕСНОВОВ. Хронология проведения работ по поиску образцов точно датированной древесины и проведению радиоуглеродных измерений в рамках общей проблемы "Астрофизические явления и радиоуглерод"	106
7. В.А.АЛЕКСЕЕВ, А.И.ИВЛИЕВ, А.К.ЛАВРУХИНА. Применение радиоуглерода для измерения малых количеств азота нейтроноактивационным методом в природных объектах.	121
8. Я.Д.ЯНСОНС, А.А.КРИСТИН. Послеимпульсы в фотоэлектронных умножителях, применяемых в оцинтилляционной технике.	129
9. А.А.КРИСТИН. Устройство отбора для оцинтилляционных установок	145

Под общей редакцией Г.Е.Кочарова

C o n t e n t s

1. G.E.KOCHAROV, N.I.AKATOVA, V.B.ALEKSEEV, T.T.BITVINSKAS, V.A.VASILIEV, A.N.KONSTANTINOV, Yu.N.MARKOV, R.Ya.METSKHVARISHVILI, S.L.TSERETELI, B.P.SHACHOV. 11- and 22-years cycles before, during and after Maunder Minimum of Solar activity.	5
2. V.M.OSTRYAKOV. Display of the long-term cosmic ray variations in the radiocarbon data.	25
3. V.A.LEVCHENKO, A.V.BLINOV. The production rate of cosmogenic radionuclides in the atmosphere of the Earth.	61
4. T.T.BITVINSKAS. Dendrochronology in the research the problem "Astrophysical phenomena and radiocarbon.	75
5. T.T.BITVINSKAS, R.Ya.METSKHVARISHVILI, A.V.STUPNEVA. Solar activity, radiocarbon and tree increment.	84
6. V.I.CHEBNOV. The chronology of research on obtaining the high accuracy dated wood samples and radiocarbon measurements in the framework of the national problem "Astrophysical phenomena and radiocarbon".	106
7. V.A.ALEXEEV, A.I.IVLIEV, A.K.LAVRUKHINA. Use of radiocarbon for measurements of small quantities of nitrogen by neutron activation method in neutral objects.	121
8. Ya.L.YANSONS, A.A.KRISTIN. Afterpulses in the photo-multipliers used in scintillation counting.	129
9. A.A.KRISTIN. Selection device for scintillation counting.	145

УДК 523.745+551.590.21

СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ, РАДИОУГЛЕРОД И РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ

Т.Т.Битвинская, Р.Я.Метсхварияшвили, А.В.Ступнева

А н н о т а ц и я

Перечисляются основные принципы отбора и подготовки древесины для радиоуглеродных исследований. Обсуждаются некоторые применения оптимальных моделей углеродобменного резервуара при изучении 11-летней и вековой цикличности Солнца. Продемонстрирована важность комплексного подхода (радиоуглерод, приrost, температура) при анализе солнечного влияния на земные процессы.

SOLAR ACTIVITY, RADIOCARBON AND TREE INCREMENT

T.T.Bitvinskas, R.Ya.Metskhvarishvili,
A.V.Stupneva

A b s t r a c t

The basic principles of choosing and preparing wood for radiocarbon research are presented. Some applications of optimum radiocarbon reservoir models to the investigation of the 11-year and secular cycles of the Sun are discussed. The importance of integrated approach (radiocarbon, temperature, tree increment etc.) has been demonstrated when analyzing the influence of the Sun on the Earth's processes.

СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ, РАДИОУГЛЕРОД И РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ

Т.Т.Битвинскас, Р.Я.Мецхваришвили, А.В.Ступнева

В в е д е н и е

В 1965-67 гг. академиком Б.П.Константиновым и профессором Г.Е.Кочаровым были заложены принципиальные основы нового научного направления и была сформулирована программа работ по комплексной проблеме "Астрофизические явления и радиоуглерод" [1,2]. В становлении и развитии этого научного направления принял участие ряд учреждений Советского Союза и зарубежных стран.

В соответствии с Постановлением Президиума АН СССР (1968 г.) Битвинскасу Т.Т. была поручена задача по разработке методики получения погодично датированных древесных образцов в широком интервале времени в необходимых для исследований количествах. Для чего при поддержке руководителей проблемы Б.П.Константинова и Г.Е.Кочарова, Президента АН Лит.ССР Ю.Ю.Матулиса и директора Института ботаники АН Лит.ССР К.К.Янкиявичуса в Институте ботаники была создана специальная лаборатория, которая в течение 15 лет проводит работы по дендроклиматохронологии и радиоуглеродным исследованиям. Дендрохронологически датированные образцы, полученные в этой лаборатории с 1969 г., используются в руководимом Р.Я.Мецхваришвили отделе ядерной спектроскопии Тбилисского госуниверситета для погодичного высокоточного измерения концентрации радиоуглерода в атмосфере Земли с помощью разработанного комплекса сцинтилляционных β -спектрометров.

В отделе ядерной спектроскопии ТГУ и в дендроклиматохронологической лаборатории (ДХХЛ) ИБ АН Лит.ССР получен большой объем уникальной информации по астрофизическим, геофизическим и экологическим явлениям, солнечно-земным связям и др., имеющей важное фундаментальное и прикладное значение.

Конкретные научные результаты нашли отражение в трудах Всесоюзных совещаний "Астрофизические явления и радиоуглерод", "Дендрохронология и дендроклиматология", Международных и Всесоюзных конференций по космическим лучам и т.д. (см. [3-11]).

В настоящей работе будут рассмотрены главным образом вопросы основополагающего характера по методике создания дендрошквал по высокоточным измерениям концентраций ^{14}C в годичных кольцах и получения конкретной информации по солнечной активности и радиальному приросту.

1. Отбор древесины для радиоуглеродных исследований, создание высоковозрастных дендрошквал

В результате специальных экспедиций и лабораторных исследований ДХХЛ получено более 3000 точно датированных колец из Литвы, Карелии, Башкирии, Новгорода, Западного Кавказа и других районов за последние 400-700 лет. В табл. I приведены основные характеристики модельных деревьев. Для получения годичных колец нами использованы растущие деревья, деревянные конструкции, бревна построек различного назначения, пролежавшая длительное время под землей или под водой древесина. Для построения высоковозрастных дендрошквал по отдельным образцам древесины пользуются процедурой синхронизации, а именно, сопоставлением дендрорядов по Календарным годам. На рис. I представлен пример синхронизации дендрохронологического материала. В тех случаях, когда использовалась древесина живых деревьев, датировка проводилась радиоуглеродным методом. Так, например, были датированы ряды древесины ископаемой сосны с торфяников Литовской ССР "Ужпелю Тириалис" и "Аукштасис Тирас", а также ствольной древесины дубов, извлеченных из песчано-гравийных отложений реки Нерис (Вилия) около гор. Сморгон (БССР) [12]. Радиоуглеродный метод оказался очень действенным методом для датировки древней древесины неизвестных нам возрастов. Он стал необходимым для датировки дендрохронологически ценных материалов и построения высоковозрастных шкал.

Созданные высоковозрастные дендрошквалы представляют не только "радиоуглеродный" интерес. Они содержат длинные ряды информации об изменяющихся условиях среды. Так, например, на модели КК-3 (Кавказ-3), взятой около Теберды и имеющей 600-летнюю продолжительность ряда годичных колец, четко обнаружены малые ледниковые периоды с узкими годичными кольцами [13].

Таблица I.

Условия местопрорастания модельных деревьев,
использованных в целях получения точно датированных
годовых колец для изучения содержания, ^{14}C

№ пп	Дата взятия модели (год)	№ мо- де- ли	Древесная порода	Воз- раст	Условия место- прорастания
I	2	3	4	5	6
1	1968	Л-1	Сосна обыкновенная	302	Лит. ССР, Марцинко- нис, леснич. Мустей- кос В ₂ -С ₂
2	1968	К-1	Сосна обыкновенная	512	Карел. АССР, Суоярви, л. Лахтолампи В ₂
3	1968	К-2	Сосна обыкновенная	377	Карел. АССР, Порос- озеро, л. Совдозеро В ₂ -3
4	1969	Л-2	Сосна обыкновенная	193	Лит. ССР, Кретинг- ский р-н, Паланг- ский парк С ₂
5	1969	Л-3	Сосна обыкновенная	190	Лит. ССР, Неринга, л. Подкрантес С ₂
6	1970	Л-4	Сосна обыкновенная	155	Лит. ССР, л. Прену С ₂
7	1970	Л-5	Сосна обыкновенная	86	Лит. ССР, л. Прену С ₂
8	1970	Л-6	Дуб черешчатый	212	Лит. ССР, р-н Прену С ₂
9	1971	Л-7	Сосна обыкновенная	109	Лит. ССР, р-н Кау- нас, л. Курас В ₂ -С ₂
10	1971	Л-8	Ель обыкновенная	91	Лит. ССР, р-н Кау- нас, л. Курас В ₂ -С ₂
11	1971	Л-9	Лиственница европ.	107	Лит. ССР, р-н Кау- нас, л. Курас В ₂ -С ₂
12	1971	Л-10	Тополь чёрный	73	Лит. ССР, р-н Варен- нос, л. Глуко В ₂
13	1971	Л-11	Дуб черешчатый	128	Лит. ССР, р-н Прену, л. Неуес Утос С ₃ -Д ₃

I	2	3	4	5	6
14	1973	Г-1	Сосна обыкновенная	35	Груз. ССР, побережье Чёрного моря
15	1973	Г-2	Сосна обыкновенная	35	Груз. ССР, горная область
16	1968	К-3	Сосна обыкновенная	413	Карел. АССР, р-н По- росозеро, л. Совд- озеро
17	1975	Л-12	Сосна обыкновенная	129	Лит. ССР, р-н Уте- нос. Ствол ископае- мой сосны в торфя- нике
18	1975	Л-13	Сосна обыкновенная	XIV.	Лит. ССР, Тракайский замок С ₂
19	1975	Б-1	Лиственница сиб.	416	Башк. АССР, Канан- кольский р-н, пос. Уркас С ₃
20	1976	Б-2	Лиственница сиб.	226	" "
21	1976	Б-3	Лиственница сиб.	402	" "
22	1976	Б-4	Сосна обыкновенная	248	" "
23	1977	КК-1	Ель восточная	470	РСФСР, л-з Бессека- ский, пос. Пхия С ₂ -3
24	1978	КК-2	Ель восточная	176	" "
25	1978	КК-3	Ель восточная	402	" "
26	1979	К-4	Сосна обыкновенная	405	Карел. АССР, р-н По- росозеро, дер. Совд- озеро В ₃
27	1979	К-5	Сосна обыкновенная	183	" "
28	1980- -1981	2602	Сосна обыкновенная	1400- -1075	Древесина Древнего Новгорода В ₂ -3-С ₂ -3
29	" "	2605	Сосна обыкновенная	" "	" "
30	" "	2606	Сосна обыкновенная	" "	" "
31	" "	2608	Сосна обыкновенная	" "	" "
32	" "	2609	Сосна обыкновенная	" "	" "
33	" "	2612	Сосна обыкновенная	" "	" "
34	1982- -1983		Дуб черешчатый	5700	Древесина сморгон- ских дубов С ₂

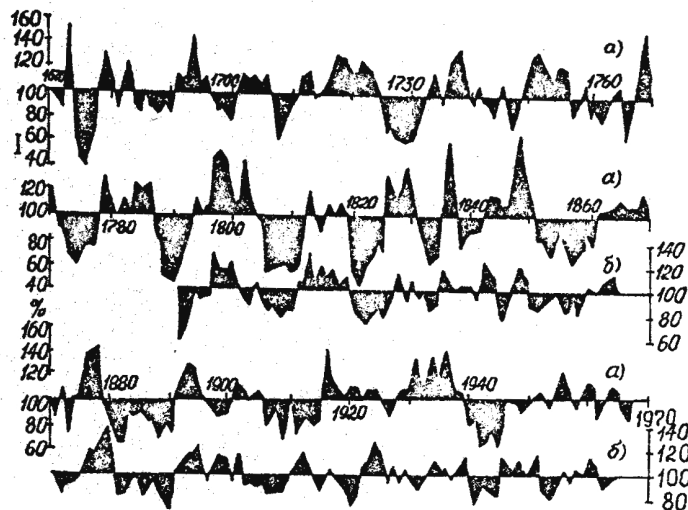


Рис.1. Пример синхронизации дендрохронологического материала.
а - динамика прироста модели сосны Л-1-1968; б - дендро-
шкала из 25 деревьев, росших в сходных условиях среды на
суходолах болота "Чапкелий".

Было показано, что комплексный подход - сочетание радиоуглеродного метода с палинологическими (пыльцевым, ботаническим, степенью разложения торфа) и дендроклиматохронологическим с применением ряда математических приёмов - позволяет уверенно датировать и увязать дендроинформацию с различных горизонтов верховых и переходных торфяников. В Литовской ССР с хорошей синхронностью и достаточной обильностью в торфяниках можно найти древесину только сосны обыкновенной. Крупные запасы законсервированной природной древесины на больших пространствах страны являются богатым источником информации о климатических, астрофизических и геофизических явлениях прошлых тысячелетий. Как подчеркивалось Б.П.Константиновым и Г.Б.Кочаровым еще в 1965 г. [1], получение погодичного временного хода содержания радиоуглерода за большой интервал времени

в прошлом позволит значительно улучшить точность радиоуглеродной датировки, доведя её до 1 года, что откроет уникальные возможности не только в астрофизике и геофизике, но в климатологии, археологии и, в целом, при изучении окружающей среды.

При отборе древесины для радиоуглеродных исследований имеют значение следующие факторы:

1. Возраст древесины определяется конкретными задачами. Так, например, для радиоуглеродных эталонов нами подбираются модели возрастом не менее 150-200 лет с целью выделения годичных колец 1845-1855 гг. Для этой цели используются сосны с западного и центрального районов Литовской ССР.

2. Количество моделей. Для получения долговременных рядов информации по ^{14}C приходится использовать совокупность моделей с различным возрастом. Как правило, возможности разделения годичных колец (ГК) обуславливаются шириной ГК древесины. Приходится подбирать модели различных возрастов в одном и том же районе, чтобы получить сплошной ряд разделённых годичных колец. Так для получения Карельского ряда ГК древесины (см. табл. I) были использованы 5 моделей сосны различного возраста. Для ряда Литовской ССР - около 10, для Кавказского ряда, охватывающего 600 лет, 3 модели восточной ели и т.д. [13].

3. Пространственный радиоуглеродный профиль стараются создавать по одной основной породе (сосне обыкновенной). Однако, для изучения синхронности различных древесных пород в Лит. ССР брались модели сосны, ели, лиственницы, дуба и тополя. В тех случаях, когда было невозможно находить высоковозрастные сосны, использовались другие древесные породы, экологически близкие к сосне (лиственница, ель).

4. Количество древесины, получаемой с годичных колец. Узость годичных колец ограничивает возможности погодичного разделения слоёв, затрудняет набор необходимого количества древесины для радиоуглеродного анализа (100-150 г). В настоящее время можно для массовых исследований разделить кольца шириной не менее 0,3-0,4 мм. Чем меньше ширина кольца, тем естественно требуется большая длина образца (важное значение имеет, конечно, и радиус обрабатываемого кольца). Все это ограничивает возможность использования для радио-

углеродных исследований узкослойной древесины северных широт, древесины с болот и т.п.

Имея в виду высокие темпы роста технических возможностей науки, следует накапливать перспективные образцы в своеобразных банках данных (складах древесины) с тем, чтобы, когда появятся реальные возможности обработки древесины в относительно малых количествах (0,5 - 10 г. на один образец), проводить необходимые исследования.

В настоящее время погодичные измерения содержания радиоуглерода ведутся, в основном, с использованием годичных колец сосны, полученных от деревьев, растущих в средней Карелии и Литве. Сочетание дендрохронологического и радиоуглеродного методов датировки позволило получить рекордную в СССР по длительности дендрошкалу в 2200 лет, обеспеченную необходимым количеством древесины для радиоуглеродных исследований, по сосне, извлекаемой из торфяных болот.

2. Причины вариаций радиоуглерода в годичных кольцах деревьев

Рассмотрим кратко некоторые из полученных результатов по исследованию солнечной активности и процессов, протекающих в околоземном пространстве. В табл.2 перечислены основные причины вариации радиоуглерода в атмосфере Земли.

Учёт эффектов миграции, различия пород деревьев и условий местопроизрастания

Для извлечения информации из годичных колец и определения характеристик различных экологических, астрофизических и геофизических явлений путем измерения концентрации радиоуглерода и других изотопов в кольцах прежде всего необходимо было ответить на вопросы:

- Временной ход концентрации радиоуглерода одинаков ли для различных пород деревьев и для различных мест произрастания?

- На сколько сильна память древесных колец, нет ли миграции радиоуглерода между различными кольцами?

Отвсты на эти вопросы важны далеко не только для изучения характеристик отмеченных выше явлений. Изменение характера временного хода концентрации радиоуглерода в зависимости от места произрастания или от породы, наличие миграции радиоуглерода между годичными кольцами открыли бы уникальные возможности исследований в области фи-

зиологии растений, химических и биохимических процессов в атмосфере, гидросфере и биосфере. Такие возможности принципиально реальны, так как в последние годы путем измерения концентрации ряда космогенных изотопов в других объектах (например, в ядрах полярного льда) удалось восстановить временной ход интенсивности космических лучей, зная который, можно сделать астрофизическую составляющую вариаций радиоуглерода.

Таблица 2.

Факторы, влияющие на концентрацию ^{14}C в атмосфере Земли

Объект исследования	Характер воздействия на атмосферу Земли	Продолжительность воздействия
Солнечная активность	Циклический	Десятки-сотни-тысячи лет
	Вспышечный	~ 10 лет
Геомагнитное поле	Монотонные изменения Инверсии	Сотни-тысячи лет Сотни лет
Вспышки сверхновых звезд	Корпускулярная компонента γ -компонента	Десятки тысяч лет ~ 10 лет
Обменные процессы в углеродном резервуаре	Медленные процессы Быстрые процессы	Десятки-сотни лет Г о д и
Антропогенные факторы	Монотонный: - сжигание топлива - атомные электростанции Быстрый: - взрывы бомб	С конца прошлого столетия С середины нашего столетия С 50-х годов нашего столетия - годы, десятки лет

Были проведены специальные высокоточные погодичные измерения содержания радиоуглерода в кольцах сосны обыкновенной, лиственницы

сибирской, ели обыкновенной и восточной, дуба черешчатого, тополя чёрного. Полученные результаты представлены на рис.2. Видно, что концентрация радиоуглерода в пределах погрешности эксперимента (ошибка $\leq \pm 0,2\%$) не зависит от типа породы и местопроизрастания.

Информацию о возможной миграции радиоуглерода между кольцами можно получить путём измерения содержания радиоуглерода в годичных кольцах за последние 30 лет. Эта возможность связана с тем, что в результате взрыва бомб концентрация радиоуглерода в атмосфере резко возросла. В 1964 г. она в два раза превышала добомбовый уровень и затем стала уменьшаться. Миграция радиоуглерода из старого кольца в новое должна была особо проявиться на ветви спада (после 1964 г.), а эффект миграции из нового кольца в старое следует ожидать в кольцах до 1964 г. Результаты выполненных исследований представлены на рис.3 [8].

В экспериментах были использованы деревья, растущие в различных географических районах: в Литве и в Грузии. Кроме того, деревья произрастали на разных высотах: уровень моря (Сухуми), 100 м (Каунас) и 1500 м (Амбролаури).

Совместное рассмотрение полученных данных и мощности соответствующих взрывов бомб показывает:

1. Интервал времени между моментом генерации нейтронов в атмосфере Земли за счёт бомб и проявлением эффекта взрыва в кольцах деревьев составляет 2 года. Это определяется процессами замедления нейтронов в атмосфере, генерации радиоуглерода в реакции $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$, окисления радиоуглерода, его перемешивания в атмосфере Земли и усвоения деревьями.

2. Временной ход концентрации радиоуглерода практически не зависит от места произрастания деревьев.

3. Возрастание концентрации радиоуглерода на спалающей (после 1964 г.) части кривой определяется взрывами китайских и французских бомб. Сравнение временного хода концентрации ^{14}C и мощности бомб даст возможность определить характерное время перехода радиоуглерода из атмосферы в океан. Оно оказывается равным 7 годам.

4. Соответствие временного хода концентрации радиоуглерода, зависимости от времени мощности взрывов и практическая одинаковость кривых для деревьев, произрастающих в различных географических точках, свидетельствуют в пользу отсутствия эффекта миграции.

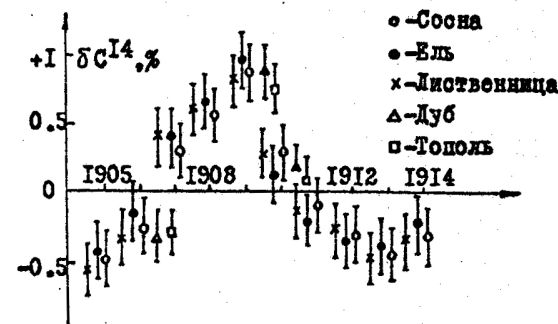


Рис.2. Содержание радиоуглерода в кольцах деревьев для различных пород.

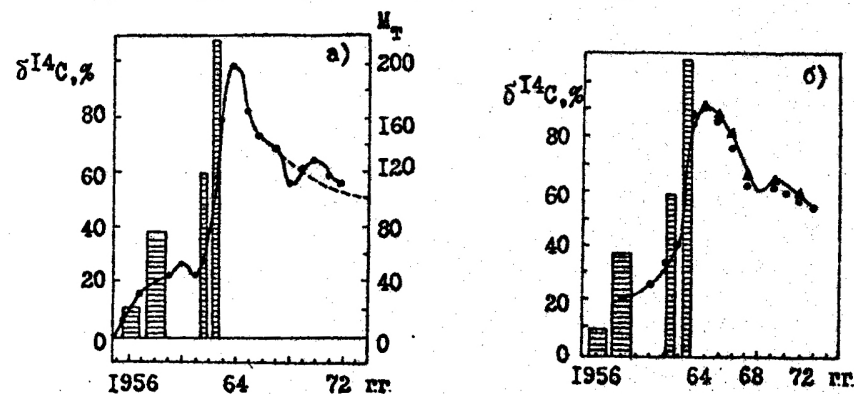


Рис.3. Изменение содержания ^{14}C в годичных кольцах сосны и интенсивность испытаний атомных бомб в атмосфере ^{14}C - . Δ , мощность взрывов - $\square$. а - Литовская ССР; б - районы Кавказа: Сухуми - . и Амбролаури - Δ .

Проведенные исследования (примеры на рис.2 и 3) показывают, что древесные кольца имеют хорошую радиоуглеродную память и соответственно являются уникальными свидетелями уровня космической радиации в прошлом.

Углеродообменный резервуар и его динамические характеристики

Для получения экологической, астрофизической и геофизической информации из радиоуглеродных данных принципиально важным является знание отклика углеродообменного резервуара на изменение скорости образования радиоуглерода в атмосфере Земли. Углеродообменный резервуар состоит из атмосферы, биосферы и океана. Для выяснения причин вариаций концентрации радиоуглерода в атмосфере Земли прежде всего необходимо установить динамику перераспределения ^{14}C между различными резервуарами. В настоящее время вопросы изучения обменных геохимических процессов и динамики отклика обменных систем на внешние воздействия стали вопросами первостепенной значимости в связи с тем, что человек все активнее возмущает природную среду. Реакция деревьев на скачкообразное изменение скорости генерации радиоуглерода в атмосфере Земли была представлена на рис.3. Одна из важных характеристик системы - временной сдвиг между моментом генерации радиоуглерода в атмосфере и его фиксации в кольце дерева - получена для скачкообразных изменений скорости образования ^{14}C . Установленный на опыте временной ход (рис.3) может быть использован и для других скачкообразных процессов, таких, как солнечные вспышки и взрывы сверхновых звезд. Для монотонных процессов, таких, как изменения солнечной активности и климата, вариации геомагнитного поля, антропогенные изменения, обусловленные сжиганием ископаемого топлива и работой атомных электростанций, требуются специальные исследования.

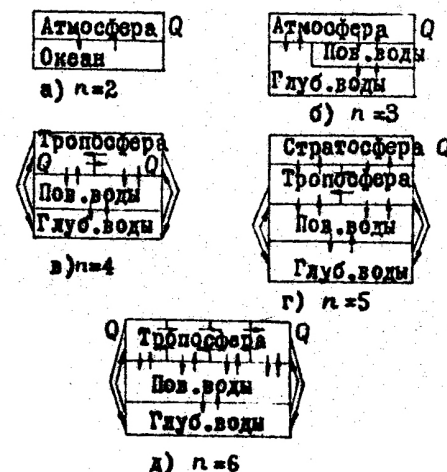
В 1973 г. Г.Е.Кочаровым перед А.В.Ступневой была поставлена задача разработки оптимальной модели углеродно-обменного резервуара, позволяющей по экспериментальным данным содержания радиоуглерода в датированных кольцах деревьев установить характеристики целого ряда астрофизических, геофизических, климатических и экологических явлений для широкого спектра характерных времен процессов.

Выполненная А.В.Ступневой в 1973-1974 гг. работа, нашедшая отражение в [14, 15], является основополагающей и содержит наиболее общую постановку всей проблемы, что позволило впоследствии на её основе установить характеристики солнечной активности, космических лучей, геомагнитного поля, эффекта Зюсса и др. на большой шкале времени. В конечном итоге, разработка модели углеродного резервуара, экспериментальное изучение эффектов Зюсса и взрыва бомб, высокоточные измерения концентрации радиоуглерода в различных породах деревьев составили значительную часть основ нового подхода к изучению природных процессов в космосе и на Земле.

В результате обменных процессов внутри углеродного резервуара в различных его частях устанавливается характерный временной ход концентрации радиоуглерода, содержащий информацию как о свойствах входной функции (вариации космических лучей на вершине атмосферы), так и о явлениях в атмосфере, биосфере и гидросфере. Из всего обилия уникальных возможностей мы коснемся лишь вариаций космических лучей и соответственно причин, их вызывающих: монотонные изменения солнечной активности и вспышки на Солнце, медленные вариации геомагнитного поля и его инверсии, взрывы сверхновых звезд и распространение космических лучей в межзвездном пространстве.

На рис.4, 5 и в табл.3 представлены схемы моделей, амплитудные и фазовые характеристики углеродо-обменной системы согласно [15].

Рис.4.
Схемы ящичных моделей.



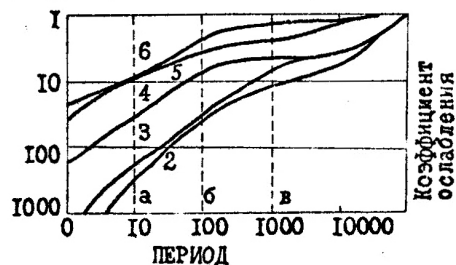


Рис.5. Изменение коэффициента ослабления атмосферы с периодом колебаний. Цифрами обозначено число ящиков; а, б, в - сечения для периода 10, 100, 1000 лет, соответственно.

Таблица 3.
Изменение фазовых сдвигов атмосферы (годы) с периодом для различных моделей

Период	Число ящиков	Фазовый сдвиг (годы)				
		2	3	4	5	6
10		2,8	2,6-2,3	2,2	2,4	2
100		15	13-5	4,9	6	4,5
400		18	20	10-20	20	8,4-22
1000		50	60-38	83	70	120

Рассмотрение приведенных зависимостей позволяет сделать следующие выводы, необходимые для установления характеристик процессов, ответственных за вариации космических лучей.

1. Для очень медленных процессов ($T \approx 10000$ лет) достаточна двухящичная модель перемешивания.

2. Для $T \approx 100$ и 10 лет необходимо использование модели с числом ящиков не менее 4.

3. С ростом основного временного параметра динамической системы - времени перехода радиоуглерода из атмосферы в океан - коэффициент ослабления и временное запаздывание атмосферы увеличиваются. Информация об этом важном параметре содержится во временном ходе бомб-эффекта в атмосфере Земли (на спадаящей ветви) и в океане (на возрастающей ветви).

II-летние и вековые вариации радиоуглерода в кольцах деревьев. Теория и эксперимент

II-летние вариации концентрации радиоуглерода в кольцах деревьев надёжно установлены в исследованиях Р.Я.Мецхваришвили и его сотрудников [16]. Полученные результаты показаны на рис.6.1.

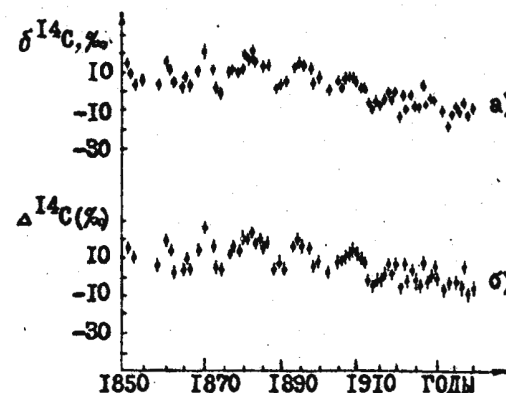


Рис.6.1. Изменение концентрации ^{14}C в атмосфере Земли за период 1850-1940 гг.: а) без учёта и б) с учётом изотопного фракционирования.

Корреляционный анализ полученных результатов показывает, что между $\Delta^{14}\text{C}$ и числами Вольфа коэффициент корреляции максимален при временном сдвиге 4-5 лет. Как видно из табл.3, фазовый сдвиг для рассматриваемого периода находится в интервале 2-2,8 г., что с учётом сдвига 2 г., полученного по бомб-эффекту, приводит к значению 4-5 лет, в полном соответствии с полученным на опыте значением. Таким образом, можно заключить, что временные вариации концентрации радиоуглерода в атмосфере Земли обусловлены циклической деятельностью Солнца. Отрицательный знак корреляции свидетельствует в пользу модулирующего действия солнечной активности на интенсивность космических лучей.

Для перехода от концентрации радиоуглерода к интенсивности космических лучей необходимо выбрать соответствующую модель углеродно-обменного резервуара. В последние годы измерено содержание космогенного изотопа ^{10}Be в кернах льда, что позволило А.Н.Константинову и Г.Е.Кочарову получить погодичный ход интенсивности космических лучей за последние 70 лет [17]. Сравнение полученных данных с радиоуглеродными результатами (рис.6.1) показывает, что коэффициент ослабления находится в интервале 30-40. Согласно рис.5, такой коэффициент ослабления получается для модели с числом ящиков ≈ 4 . Таким образом, полученный 10 лет назад вывод [14] полностью подтвержден на опыте.

В работе Р.Я.Мещваршвили и его сотрудников [16] погодичное измерение вариаций концентрации радиоуглерода было проведено также в интервале времени 1688-1712 гг. Этот временной интервал охватывает вспышку сверхновой звезды Кассиопея А. Представляло большой интерес выяснение вопроса: оставила ли указанная вспышка в кольцах деревьев след, который можно обнаружить на опыте? Кроме того, этот временной интервал находится в Маундеровском минимуме солнечной активности. Для этого периода важно выяснить вопрос, имела ли место циклическая деятельность Солнца в этот интервал времени, если да, то с какими периодами.

На рис.6.2 представлены результаты погодичных измерений концентрации радиоуглерода в этом интервале [16].

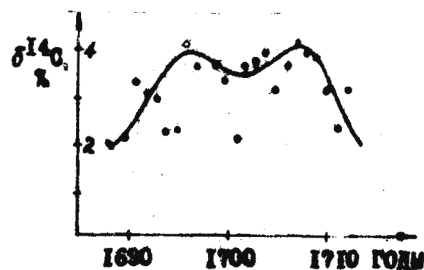


Рис.6.2. Изменение концентрации ^{14}C в атмосфере Земли за период 1688-1712 гг.

Как видно из рисунка, наблюдается возрастание общего уровня концентрации радиоуглерода до 4-х процентов. Из этих экспериментальных данных не видно повышения концентрации радиоуглерода за счёт вспышки сверхновой Кассиопея А, что хорошо согласуется с данными работы Г.Е.Кочарова и др. [5].

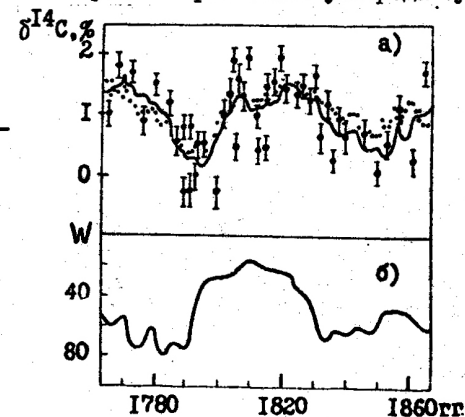
В районе 1700 года наблюдается минимум концентрации величиной 3.4-3.5%. Отсюда можно сделать предположение о наличии 11-летней цикличности и оценить амплитуду как 0.3-0.4%. В районе 1688 и 1711 годов наблюдаются глубокие минимумы величиной около 2%, откуда следует предположить, что кроме 11-летней цикличности в этом интервале возможно также существование волны с 22-летним периодом.

Для окончательного решения вопроса о характере циклической деятельности Солнца в интервале Маундеровского минимума, следует продолжить высокоточные погодичные измерения во всем интервале указанного минимума.

Вековой цикл солнечной активности исследован Г.Е.Кочаровым, Х.А.Арслановым, В.А.Дергачевым, А.А.Санадзе и С.Б.Черновым [9,18]. На рис.7 представлены полученные результаты, совместно с временным ходом чисел Вольфа. Согласно приведённым данным надёжно установлено наличие отрицательной корреляционной связи между концентрацией радиоуглерода в атмосфере и вековым циклом солнечной активности. Амплитуда вековой волны в вариации радиоуглерода составляет 1.5%, а временной сдвиг около 10 лет. С учётом 2-х годичного сдвига (по бомб-эффекту) из табл.2 получаем для числа ящиков значение 4-5. Согласно рис.5 для $n=5$ коэффициент ослабления равен 10, т.е. амплитуда вековой волны в скорости образования углерода будет 15%.

Рис.7.

- а) Вековые вариации концентрации радиоуглерода в атмосфере.
- б) 11-летние скользящие средние чисел Вольфа.



На рис.8 представлены зависимости от времени концентрации радиоуглерода в кольцах деревьев, солнечной активности и температуры по данным, приведённым в монографии [19]. Видно, что повышение солнечной активности сопровождается ростом температуры и наоборот. С другой стороны, рис.9, заимствованный также из монографии [19], показывает наличие положительной корреляционной связи между приростом и температурой.

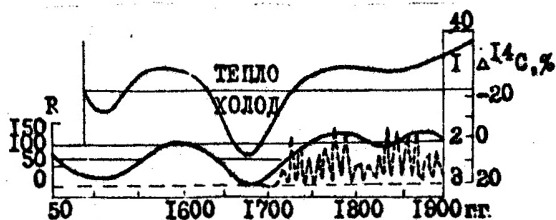


Рис.8. Временной ход концентрации радиоуглерода (2), солнечной активности R (3) и температуры (1) [19].

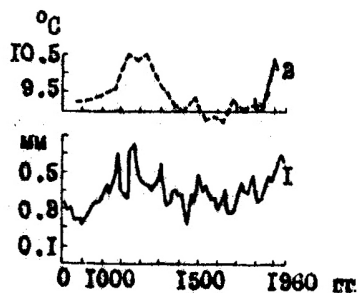


Рис.9. Временной ход прироста (1) и температуры (2) [19].

На рис.10 представлены спектры: ширины годичных колец, полученной Ступневой А.В. [20]; содержания радиоуглерода [21]; чисел солнечных пятен. Подобие кривых свидетельствует в пользу предполо-

жения о том, что солнечная активность является основным "дирижером", определяющим характер вариации радиоуглерода и ширины годичных колец.

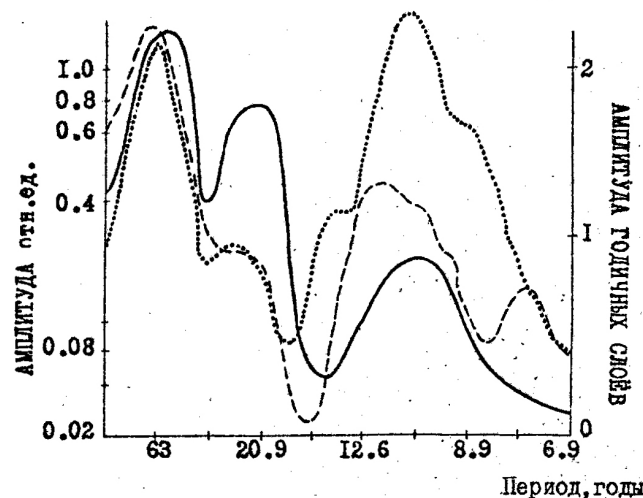


Рис.10. Спектры данных по содержанию радиоуглерода - пунктирная линия [21], по числам солнечных пятен - точечная линия, ширине годичных колец Северной Карелии - сплошная линия [20].

Приведённые выше данные позволяют сделать вывод о том, что между солнечной активностью, концентрацией радиоуглерода в кольцах деревьев, температурой и приростом имеется причинно-следственная связь. В настоящее время её можно представить следующим образом: с ростом солнечной активности увеличивается температура атмосферы и растёт прирост. Поскольку прирост определяется не только температурой, в зависимости от конкретных условий произрастания эффект солнечной активности может быть проявлен в большей или меньшей степени. Более того, в зависимости от местопроизрастания в приросте могут проявляться различные циклы солнечной активности. Допус-

можно предположить, что на высоких широтах, где поток вспышечных протонов высокий и соответственно значительны возмущения состава и состояния атмосферы, роль солнечных вспышек может быть существенной и деревья могут оказаться чувствительными к глобальным, крупномасштабным изменениям солнечной активности.

Солнечная активность должна влиять на концентрацию радиоуглерода не только путем модуляции интенсивности космических лучей, но и через изменение температуры. Вариации температуры могут изменять скорость обмена между различными частями углеродного резервуара и соответственно временной ход концентрации радиоуглерода. Однако, при достигнутой в настоящее время точности измерения концентрации радиоуглерода температурный эффект не удается отделить от эффекта модуляции.

Наличие связи между солнечной активностью, концентрацией радиоуглерода, температурой и приростом не только ещё раз подчёркивает важность комплексных исследований, но и открывает уникальные возможности дальнейшего изучения природных процессов.

В заключение выражаем глубокую благодарность руководителю общесоюзной проблемы "Астрофизические явления и радиоуглерод" Г.Е.Кочарову за постановку задачи, конкретные идеи и предложения, многократные обсуждения и постоянное внимание.

Л и т е р а т у р а

1. Константинов Б.П., Кочаров Г.Е. Препринт ФТИ АН СССР, № 064, 1967, 43 с.
2. Константинов Б.П., Кочаров Г.Е. - Докл. АН СССР, 1965, т.165, № 1, с.63.
3. Труды Всесоюзного совещания по проблеме "Астрофизические явления и радиоуглерод" (Тбилиси, 25-27 ноября 1969 г.), Изд. ТГУ, Тбилиси, 1970, 147 с.
4. Радиоуглерод (Материалы Всесоюзного совещания по проблеме "Вариации содержания радиоуглерода в атмосфере Земли и радиоуглеродное датирование", Вильнюс, 22-24 ноября 1971 г.). Институт Ботаники АН Лит.ССР, ФТИ им.А.Ф.Иоффе АН СССР. Вильнюс, 1971, 244 с.

5. Труды Пятого Всесоюзного совещания по проблеме "Астрофизические явления и радиоуглерод" (Тбилиси, 4-6 октября 1973 г.). Тбилисский госуниверситет, Ордена Ленина физико-технический институт им.А.Ф.Иоффе АН СССР, 369 с.
6. Материалы Шестого Всесоюзного совещания по проблеме "Астрофизические явления и радиоуглерод" (Тбилиси, 13-15 октября 1976 г.). Тбилисский госуниверситет, ФТИ им.А.Ф.Иоффе АН СССР, Тбилиси, 1978, 467 с.
7. Дендроклиматохронология. Материалы Второго Всесоюзного совещания по дендроклиматологии и дендрохронологии. - Институт Ботаники АН Лит.ССР, ФТИ им.А.Ф.Иоффе АН СССР, ДК комиссия АН СССР. Каунас, 1972, с.213.
8. Дергачев В.А., Кочаров Г.Е., Мелхваришвили Р.Я., Санадзе А.А. В кн.: VI Ленинградский Международный семинар "Ускорение частиц и ядерные реакции в космосе", Л., 1974, с.177.
9. Кочаров Г.Е., Арсланов Х.А., Дергачев В.А., Тлеугалиев С.Х., Чернов С.Б. - Письма в АЖ, 1977, т.3, с.474.
10. Dergachev V.A., Kocharov G.E., Tleugaliyev S.Kh. Proc. 16-th Intern. Cosmic Ray Conf., Kyoto, 1979, v. 12, p. 142.
11. Dergachev V.A., Kocharov G.E., Ostryakov V.M. Proc. 17-th Intern. Cosmic Ray Conf., Paris, 1981, v. 9, p. 258.
12. Битвинскас Т.Т., Дергачев В.А., Даукантас А., Лийва А., Суурман С., Шулия К. - В кн.: Условия среды и радиальный прирост деревьев. Каунас, 1978, с.51.
13. Битвинскас Т., Кайрайтис И., Брукштус В., Навасайтис М. В кн.: Пространственные изменения климата и годовые кольца деревьев. Ин-т Ботаники АН Лит.ССР, 1981, с.87.
14. Ступнева. Дипломная работа, ЛПИ, Ленинград, 1974, 90 с.
15. Дергачев В.А., Ступнева А.В. Препринт ФТИ АН СССР, № 491, Л., 1975, 31 с.
16. Мелхваришвили Р.Я., Жоржоллиани И.В., Имедадзе Т.Ш., Цинамдзгвришвили Т.Ш. В кн.: Материалы Шестого Всесоюзного совещания по проблеме "Астрофизические явления и радиоуглерод", Изд. ТГУ, 1978, с.239.

17. Константинов А.Н., Кочаров Г.Е. Препринт ФТИ АН СССР, 1982, № 801, 15 с.
18. Санадзе А.А. - Диссертация на соискание учёной степени кандидата физ.-мат.наук, ФТИ АН СССР, 1974, 141 с.
19. Борисенков Е.П., Пасецкий В.М. Экстремальные природные явления в русских летописях XI-XVII вв.. - Л.: Гидрометеиздат, 1983, 239 с.
20. Ступнева А.В. В кн.: Радиальный прирост и дендроиндикация. Институт ботаники АН Лит.ССР, 1981, с.71.
21. Дергачев В.А., Тлеугалиев С.Х., Житорчук Ю.В. - Препринт ФТИ АН СССР, 1975, № 511, 28 с.

РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ ИЗОТОПОВ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ
И АСТРОФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ
(Тематический сборник)

Печатается по решению ученого совета ФТИ от
21/1-1983г.

Лит. редакторы: Н.С.Морозова, И.А.Слободян

РПН ЛИФ, зак.1023, тир.500, уч.-изд.л.7;12/ХП-1984г., М-11654
формат 60x84 1/16
Цена 1 руб.