

Н. Н. КОВАЛЮХ, В. В. СКРИПКИН, Э. В. СОБОТОВИЧ

Отделение радиогеохимии окружающей среды
Институт Геохимии и физики минералов АН Украины

М. Г. БУЗЫННЫЙ

Украинский научный центр радиационной медицины

Е. В. САНИН

ПГО "Севукргеология"

РАДИОУГЛЕРОД АВАРИЙНОГО ВЫБРОСА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС В ГОДОВЫХ КОЛЬЦАХ ДЕРЕВЬЕВ

Резюме. Авторы представляют результаты измерений концентрации радиоуглерода о образцах годовых слоев деревьев отобранных на различных расстояниях от Чернобыльской АЭС. В слоях 1986 года обнаружено концентрации радиоуглерода выше 500 PM.

ZAPIS EMISJI RADIOWĘGLA W CZASIE AWARII REAKTORA JĄDROWEGO W CZERNOBYLU W SŁOJACH ROCZNYCH PRZYROSTÓW DRZEW

Streszczenie. Autorzy przedstawiają wyniki pomiarów koncentracji izotopu C-14 wyprodukowanego w czasie awarii reaktora jądrowego w Czernobylu w próbkach rocznych przyrostów drzew rosnących w różnych odległościach od reaktora. Zaobserwowane najwyższe wartości w słojarach utworzonych w roku 1986 przekraczają 500 PM.

TREE RING RECORD OF RADIOCARBON EMISSION FROM THE CHERNOBYL NUCLEAR POWER PLANT

Summary. The radiocarbon content in annual tree rings, sampled at several distances in the zone of influence of Chernobyl nuclear power plant has been measured. The highest levels up to more than 500 PM were found in tree rings formed in 1986.

В течение прошедших двух десятилетий суммарное количество радиоуглерода выброшенное в атмосферу из всех ядерных установок мира было относительно невелико по сравнению с количеством радиоуглерода, образовавшегося при испытаниях атомного оружия. Поэтому при рассмотрении глобального радиоуглеродного обменного резервуара вклад реакторного радиоуглерода не учитывался.

Вблизи же крупных АЭС выявлены повышения концентрации техногенного радиоуглерода в окружающей среде (Соботович, Ковалюх, 1990, Рублевский и др., 1979). Особый интерес представляет изучение распределения радиоуглерода в обменном резервуаре после аварийного выброса Чернобыльской АЭС в 1986 году. Так, уже 29-апреля в течении аварии Салонен (1986) измерила уровни содержания радиоуглерода в приземном воздухе в Финляндии. Они составляли 0,54 – 0,82 Бк. на кубический метр.

Измерения концентрации радиоуглерода в древесных колцах 1986 года, отобранных на территории Латвии и Львовской области показали повышенное содержание радиоуглерода по сравнению с предыдущими годами на 3 – 10%. На Чернобыльской АЭС используются ядерные реакторы типа РБМК – 1000. РБМК штото реактор на тепловых нейтронах, в котором замедлителем служит гравит, а теплоносителем вода. Реактор имеет вид вертикального цилиндра объем которого заполнен кладкой из гравитовых блоков общей массой 1850 тонн. Исходная концентрация изотопа ^{13}C составляет 1,108%.

При работе реактора типа РБМК радиоуглерод образуется из углерода (^{13}C) – гравита – замедлителя, кислорода (^{17}O) – воды охлаждения, азота воздуха, находящегося в межканальном пространстве и азота, входящего в состав химических добавок, предотвращающих процесс радиолиза воды первого контура (табл. 1). При взрывном разрушении активной зоны реактора радиоуглерод из вышеперечисленных субстанций попадал в окружающую среду.

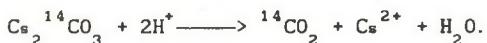
Основной формой нахождения техногенного радиоуглерода во время аварийного выброса являлся диоксид углерода. Последний переносился с воздушными массами и входил в обменный резервуар системы атмосфера – гидросфера. Атмосферный

Таблица 1

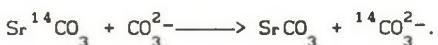
Удельный выход ^{14}C при облучении некоторых веществ тепловыми нейтронами [$1 - 10^{13}$ нейтр./($\text{с} \cdot \text{см}^2$)]

Вещество	Основная реакция образования ^{14}C	Выход ^{14}C Ки/(сут. кг.)
Азот	$^{14}\text{N} (\text{n}, \text{p}) ^{14}\text{C}$	$6,7 \cdot 10^{-3}$
Воздух	$^{14}\text{N} (\text{n}, \text{p}) ^{14}\text{C}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$
Воздух	$^{17}\text{O} (\text{n}, \alpha) ^{14}\text{C}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$
H_2O	$^{17}\text{O} (\text{n}, \alpha) ^{14}\text{C}$	$4,6 \cdot 10^{-7}$
H_2O	$^{17}\text{O} (\text{n}, \alpha) ^{14}\text{C}$	$4,1 \cdot 10^{-7}$
CO_2	$^{17}\text{O} (\text{n}, \alpha) ^{14}\text{C}$	$3,6 \cdot 10^{-7}$
CO_2	$^{13}\text{C} (\text{n}, \gamma) ^{14}\text{C}$	$1,2 \cdot 10^{-8}$
Графит	$^{13}\text{C} (\text{n}, \gamma) ^{14}\text{C}$	$4,4 \cdot 10^{-8}$
Терменил	$^{13}\text{C} (\text{n}, \gamma) ^{14}\text{C}$	$4,2 \cdot 10^{-8}$
Газойль	$^{13}\text{C} (\text{n}, \gamma) ^{14}\text{C}$	$3,8 \cdot 10^{-8}$

диоксид углерода содержащий техногенный радиоуглерод частично ассимилировался растениями остальная часть его была рассеяна в атмосфере и гидросфере. Карбонаты и карбиды различных металлов конструкционных и топливных материалов выпадали на почву в виде ашрозольных частиц или вместе с осадками (рис 1). Дальнейшая миграция радиоуглерода зависела от значения pH среды В кислых почвах преобладали процессы разложения карбонатов высвобождением диоксида углерода по схеме



В щелочных и нейтральных средах CO_2 мигрировал вместе с карбонатом металла, либо в виде CO_3^{2-} иона, возможен также изодопный обмен типа:



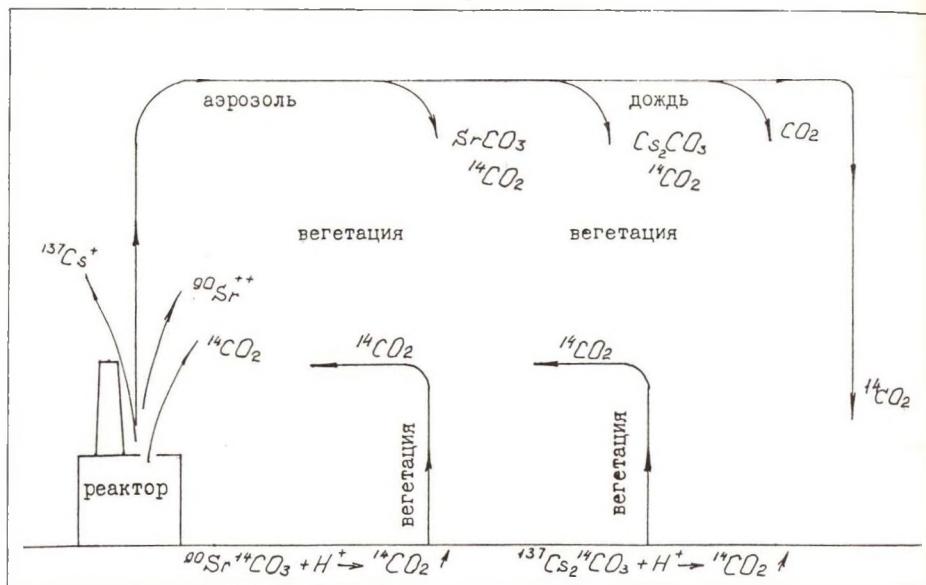


Рис. 1. Схема распространения радиоуглерода вокруг АЭС

Fig. 1. Pathways of radiocarbon distribution around the nuclear power plant

Предположительно, во время аварийного выброса на Чернобыльской АЭС концентрация техногенного радиоуглерода в приземном воздухе в районе аварийного блока по нашим расчетам превышала 6 - 7 тыс.% от современного уровня. Представляло интерес установить ареал усвоения растениями радиоуглерода в процессе аварии и в последующие вегетационные периоды.

Как известно, годичные кольца деревьев, растущих на открытой местности или в разреженных лесах, после удаления из колец шкстрактивных веществ, являются индикаторами среднего содержания радиоуглерода в атмосфере за вегетационный период (Арсланов, 1987).

Таблица 2

Результаты измерения содержания ^{14}C в годичных кольцах

N п/п	Место отбора	Год	Содержание C-14 % modern
1	Чернобыль "рыжий лес"	1966	191,6 ± 1,6
2	Чернобыль "рыжий лес"	1969	177,1 ± 1,2
3	Чернобыль "рыжий лес"	1972	165,9 ± 1,3
4	Чернобыль "рыжий лес"	1973	155,2 ± 1,2
5	Чернобыль "рыжий лес"	1974	153,5 ± 1,3
6	Чернобыль "рыжий лес"	1975	152,1 ± 1,0
7	Чернобыль "рыжий лес"	1977	148,8 ± 1,7
8	Чернобыль "рыжий лес"	1978	143,5 ± 0,9
9	Чернобыль "рыжий лес"	1979	156,4 ± 2,3
10	Чернобыль "рыжий лес"	1980	158,1 ± 1,2
11	Чернобыль "рыжий лес"	1981	141,8 ± 1,1
12	Чернобыль "рыжий лес"	1982	146,4 ± 1,1
13	Чернобыль "рыжий лес"	1983	148,3 ± 1,0
14	Чернобыль "рыжий лес"	1985	160,2 ± 1,7
15	Чернобыль "рыжий лес"	1986	401,6 ± 2,6
16	Чернобыль питомник	1986	528,5 ± 3,9
17	Чернобыль с. Лелев	1986	196,2 ± 2,3
18	Чернобыль "рыжий лес"	1987	147,2 ± 1,1
19	Чернобыль "рыжий лес"	1988	141,6 ± 1,5
20	Львовская обл.	1972	156,4 ± 1,3
21	Львовская обл.	1973	146,6 ± 1,2
22	Львовская обл.	1974	155,2 ± 1,8
23	Львовская обл.	1976	159,3 ± 1,7
24	Львовская обл.	1977	149,3 ± 1,7
25	Львовская обл.	1985	144,0 ± 1,1
26	Львовская обл.	1986	158,8 ± 1,3
27	Львовская обл.	1987	127,2 ± 1,1

Экспериментально было показано, что в растительности на расстоянии 1 - 2 км от источника выброса концентрация ^{14}C в траве является максимальной (Рублевский, 1979). Руководствуясь штими данными, нами в 1989 году были отобраны деревья, произрастающие вблизи 4 - го блока Чернобыльской АЭС на расстоянии 2,5, 4 и 6 км от источника выброса.

Содержание радиоуглерода в годовых кольцах приведено в табл. 2 и представлено на рис. 2. Для анализа временную шкалу удобно разбить на четыре отрезка: участок до ввода в эксплуатацию Чернобыльской АЭС, период работы станции; аварийный выброс; и послеаварийный период.

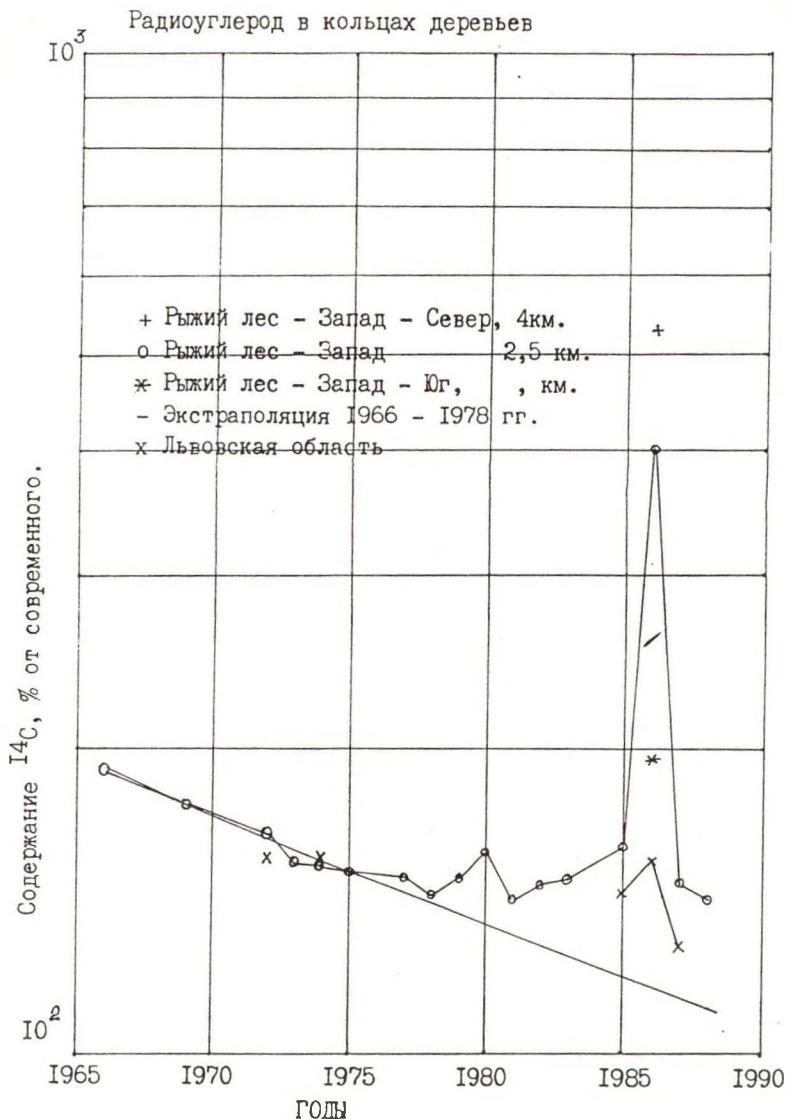


Рис. 2. Содержание радиоуглерода в годовых кольцах деревьев

Fig. 2. Changes of radiocarbon concentration in annual tree rings

Первый временной участок хорошо согласуется с глобальными процессами уменьшения концентрации радиоуглерода в атмосфере, связанное с прекращением испытаний ядерного оружия (Виноградов и др., 1972). Экстраполяция этой закономерности позволяет выделить компоненту радиоуглерода, обусловленную запуском в работу Чернобыльской АЭС и аварийным выбросом. Ввод в эксплуатацию Чернобыльской АЭС привел к повышению содержания ^{14}C в окружающей среде в зоне влияния АЭС (рис. 2). Концентрация радиоуглерода в атмосфере в этот период достигала 152 – 158% от современной.

Аварийный выброс зафиксирован во всех исследуемых точках пробоотбора 1986 года, максимальное значение в точке, расположенной в северо – западном направлении от Чернобыльской АЭС. Содержание радиоуглерода в колце 1986 года в этом районе составляет 528% от современного уровня.

Нами произведен отбор деревьев в 2 – 4 км от аварийного блока на север и северо-запад по розе ветров. Предположительно, именно в штих точках должны быть максимальные количества накопления техногенного радиоуглерода. Дальнейшие изучение распределения радиоуглерода аварийного выброса в окружающей среде проводится в направлении определения корреляции между содержанием ^{14}C и цезиевым и стронциевым загрязнениями с учетом розы ветров.

Полученные нами результаты однозначно свидетельствуют о локальном повышении концентрации радиоуглерода в приземном слое воздуха в период катастроги 1986 года и усвоении его растительностью. Последнее обстоятельство может объяснить огромный пик содержания радиоуглерода в кольцах деревьев 1986 года.

ЛИТЕРАТУРА

АРСЛАНОВ Х. А., 1987, Радиоуглерод, геохимия и геохронология. из-во Ленинградского Университета, 295с.

ВИНОГРАДОВ А. П., ДЕВИРЦ Л. Р., ДОБКИНА Э. Н., 1972, Стратосферные концентрации ^{14}C в 1967 – 1969 гг., Доклады АН СССР, т. 205, №. 4, с. 824 – 826.

РУБЛЕВЦИЙ В. П., ГОЛЕНЕЦКИЙ С. П., КИРДИН Г. С., 1979, Радиоактивный углерод в биосфере, Москва, Атомиздат, 134с.

СОБОТОВИЧ З. П., КОВАЛЮХ Н. Н., ЧЕБАНЕНКО С. И., 1989, Дендрорадиошколология в зоне влияния Чернобыльской АЭС. В сб. "Принципы и методы ландшафтно – геохимических исследований миграции радионуклидов", Москва, с. 125.

GAIKO V. B., KORABLEV N. A., SOLOVEV E. N., TROSHEVA T. I., SHAMOV V. P., UMANETS M. P., SHCHERBINA V. G., 1985, Discharge of ^{14}C by nuclear power stations with RBMK - 1000 reactors. Atom. Energ., vol. 59, p. 144.

RUBLEWSKII V. P., ZYKOVA A. S., TURKIN A. D., 1973, Atomic Power Stations as Sources of Carbon-14 Discharges. Proc. 3rd Int. Cong. Rad. Prot. Assoc., Washington D. C., p. 296-300.

SALONEN L., 1987, Carbon-14 and tritium in air in Finland after the Chernobyl accident. Radiochimica Acta, vol. 41, p. 145-148.

Wprowadzone do Redakcji: 5 kwietnia 1992

Recenzent: Prof. dr hab. Andrzej Zastawny

Abstract

The authors evaluate the amount of radiocarbon produced in different nuclear reactions that have occurred in the reactor during the accidental outburst in April 1986 at Chernobyl nuclear power plant. Content of radiocarbon in annual tree rings, sampled at several distances in the zone of influence of Chernobyl nuclear power plant has been measured. The highest levels of radiocarbon are obtained for tree rings formed in 1986. Depending on distance of the sampling points from the reactor, the radiocarbon concentrations vary from 196 to 528 percent of modern concentration in uncontaminated biosphere. The results obtained are the unambiguous evidence of local increase of radiocarbon concentration in the near-surface air layer during catastrophe period of 1986.