

## О ПРОЯВЛЕННОСТИ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ ПО СООТНОШЕНИЮ СОДЕРЖАНИЯ ТОРИЯ И УРАНА В ЛИСТЬЯХ ТОПОЛЯ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Д.В. Юсупов<sup>1</sup>, Л.П. Рихванов<sup>1</sup>, Н.В. Барановская<sup>1</sup>, Л.М. Павлова<sup>2</sup>, В.И. Радомская<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Томский политехнический университет, Россия, yusupovd@mail.ru, rikhvanov@tpu.ru

<sup>2</sup>Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Россия, pav@ascnet.ru

## ABOUT MANIFESTATION OF NATURAL AND TECHNOGENIC FACTORS BASED ON THE RATIO OF THORIUM AND URANIUM CONTENT IN POPLAR LEAVES IN THE URBANIZED AREAS

D.V. Yusupov<sup>1</sup>, L.P. Rikhvanov<sup>1</sup>, N.V. Baranovskaya<sup>1</sup>, L.M. Pavlova<sup>2</sup>, V.I. Radomskaya<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University, Russia, yusupovd@mail.ru

<sup>2</sup>Institute of Geology and Nature Management, Far-Eastern Branch, RAS, pav@ascnet.ru

Методом инструментально нейтронно-активационного анализа определены содержания тория и урана в золе листьев тополя, произрастающего на разных территориях: пос. Усть-Баргузин, города Краснокаменск и Благовещенск. Торий и уран являются индикаторными элементами-трассерами, отражающими природную (пос. Усть-Баргузин), а также промышленную уранодобывающую (г. Краснокаменск) и топливно-энергетическую (г. Благовещенск) специализации урбанизированных территорий. Показано, что содержание и характер распределения Th и U в листьях тополя, а также показатель Th/U соотношения, можно использовать для целей эколого-геохимического дифференцирования городов.

The method instrumentally of a neutron activation analysis determined contents of thorium and uranium in leaves ash of the poplar growing in different territories: Ust-Barguzin, cities of Krasnokamensk and Blagoveshchensk. Thorium and uranium are the indicator elements tracers of natural (Ust-Barguzin), and also uranium mining (Krasnokamensk) and fuel and energy (Blagoveshchensk) specializations of the urbanized areas. It is shown that contents and nature of distribution of Th and U in poplar leaves, and also Th/U ratio, it is possible to use for ekology-geochemical assessment of the cities.

Города с экологических позиций – горячие точки окружающей среды с концентрацией населения, инфраструктуры, производства, источников загрязнения, где формируется техногенная среда, нередко неблагоприятная для здоровья человека. В России городское население составляет около 73%. Важнейшей задачей в изучении городов является поиск индикаторных объектов и показателей, с помощью которых можно составить эколого-геохимический портрет любого города [6, 17 и др.].

На урбанизированных территориях технологические процессы преобразования и синтеза химических веществ и элементов техногенного происхождения генетически связаны с процессами их миграции, седиментации, аккумуляции, сорбции-десорбции и др. в природных средах. Различают прямую связь (образование газоаэрозольных, жидких и твердых отходов производства и их поступление в окружающую среду) и обратную (возвращение отходов производства в технологический цикл). Выявление закономерностей миграции химических элементов в единстве с технологической и природной составляющими определяют главную задачу геохимии техногенеза [18]. Биогеохимические методы помогают в решении данной задачи. Они позволяют диагностировать изменения в состоянии окружающей среды на урбанизированных территориях. Для этой цели используются организмы биоиндикаторы и биомониторы.

Термины “биоиндикатор” (организм который дает информацию о качестве окружающей среды) и “биомонитор” (организм, который дает количественную информацию о качестве окружающей среды) используются отдельно, хотя некоторые растения могут служить од-

новременно и биоиндикаторами, и биомониторами [4]. При этом, они должны удовлетворять следующим требованиям: иметь повсеместное распространение в пределах природной зоны; выраженную количественную и качественную реакцию на отклонение свойств среды обитания от экологической нормы; биология данных видов – индикаторов должна быть хорошо изучена.

Всем этим требованиям отвечает вегетативная масса (листва) древесного растения рода тополь (*Populus*). Листья тополя рассматриваются как специфический геохимический планшет, который концентрирует элементы из почвы, а также улавливает пылеаэрозоли из атмосферного воздуха за счет морфологического и анатомического строения листовой пластинки: шероховатой поверхности, наличия клейкого воска, особенностей расположения устьиц.

Проведенными ранее исследованиями показано [1, 3, 5, 15, 19, 20], что листья тополей накапливают специфические химические элементы, в том числе радиоактивные элементы, обусловленные техногенными факторами – выбросами предприятий различных промышленных комплексов.

*Цель работы.* Оценка степени проявленности природной и техногенной составляющих в биогеохимической специализации разноплановых урбосистем по данным содержания тория и урана в золе листьев тополя. Для исследования отобрана вегетативная масса тополей, произрастающих в урбозекосистемах, различающихся характером природной (пос. Усть-Баргузин) и промышленной геохимической специализации – уранодобывающая (г. Краснокаменск) и топливно-энергетическая (г. Благовещенск).

Теоретической основой данного исследования послужили научные работы в области экологической геохимии и биогеохимии В.А. Алексеенко, Н.В. Барановской, Р. Баргальи, И.Г. Берзиной, М.А. Глазовской, В.В. Добровольского, В.В. Ермакова, Н.С. Касимова, А.Л. Ковалевского, В.В. Ковальского, Л.П. Рихванова, Ю.Е. Саета и др.

На кафедре геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета (ТПУ) с 1998 г. проводятся исследования в области биогеохимического нормирования и районирования урбанизированных территорий Азиатской части России и Казахстана в масштабе 1:200000 – 1:100000 по данным опробования листьев тополя. Основным методом определения валового элементного состава образцов служит инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА), проводимый в аккредитованной ядерно-геохимической лаборатории на исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т ТПУ (аналитик А.Ф. Судыко). База данных насчитывает более 1 тыс. проб с определенным содержанием 28 элементов, включая редкоземельные и радиоактивные.

### **О проявленности природного фактора в содержании тория и урана**

Влияние природного фактора на содержание тория и урана в природных средах, связанного с аномальными геохимическими условиями геологической среды, изучено на примере пос. Усть-Баргузин, расположенного на берегу Баргузинского залива на восточном побережье оз. Байкал и рассматриваемого как условно фоновая территория.

Средние содержания тория в пределах Байкальского региона составляют: в коренных породах – 9,1 г/т, в почвах – 7,2–7,9 г/т, в донных отложениях – 8,5 г/т [9]. С восточной стороны Байкала аномальная зона тория приурочена к Баргузино-Витимской металлогенической провинции, представленной гранитоидными породами повышенной щелочности. Контрастная и площадная аномалия тория установлена в районе полуострова Святой Нос. Она приурочена к щелочным породам витимканского и джидинского комплексов. Площадные высококонтрастные аномалии тория в этом районе конформны аномалиям урана [9].

Средние содержания урана в пределах Байкальского региона составляют: в коренных породах – 1,7 г/т, почвах – 2,4–3,6 г/т, в донных осадках – 2,7 г/т [9]. В коренных породах установлено несколько площадных природных геохимических аномалий урана. Одна из них (3–15 г/т) расположена в районе пос. Усть-Баргузин. Повышенные содержания урана здесь отмечены в субщелочных гранитоидах витимканского комплекса. С распределением аномальных содержаний урана в коренных породах генетически связаны аномалии урана в почвах. Отношение Th/U (по средним значениям) составляет от 2–3 до 7 (в почвах пойменных отложений) [9].

Среднее содержание тория в золе листьев тополя, отобранных на территории пос. Усть-Баргузин, составляет 1,4 г/т, урана – 0,6 г/т, отношение Th/U – 2,3. Коэф-

фициент концентрации (Kc) составил для тория – 4,5, для урана – 0,8. Максимальные значения соотношения Th/U и Kc в сравнении с другими изученными урбанизированными территориями отмечены для тория и связаны, на наш взгляд, с петрогенным фактором геологической среды – влиянием щелочных и субщелочных гранитоидных комплексов пород Баргузинского выступа Байкало-Витимской складчатой области.

### **О проявленности техногенных факторов в содержании тория и урана**

*Уранодобывающая промышленность.* Главной эколого-геохимической особенностью уранодобывающей промышленности является поступление в окружающую среду радионуклидов радиоактивных семейств  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{Th}$  [18]. Основными источниками выделения пыли, аэрозолей и газов при добыче урановых руд служат вентиляционные выбросы, пыление отвалов и хвостохранилищ. При открытых разработках атмосфера загрязняется также выбросами от технологического оборудования и транспорта, пылью и газами, образующимися при взрывных работах. В результате оседания пылеаэрозолей вокруг уранодобывающих предприятий формируются радиационные лито- и биогеохимические аномалии [5, 7].

Исследования проведены на территории города Краснокаменска, находящегося в зоне влияния добычи урановых руд Mo-U месторождений на Стрельцовском рудном поле в Забайкальском крае. Рудное поле относится к категории уникальных – общие запасы урана, сосредоточенные в девятнадцати пространственно сближенных месторождениях, оцениваются более чем в 250 тыс. т [7].

Эксплуатация месторождений Стрельцовского рудного поля ведется с 1968 года и сопровождается трансформацией природных ландшафтов прилегающих территорий, что подтверждено данными аэро-гамма-спектрометрической съемки. Содержание эквивалентного урана в почвах рудного поля спустя более двух десятилетий добычи и переработки увеличилось в 6 раз, с 2–8 до 12–48 г/т [7]. Экологическую ситуацию на данной территории и в ее окрестностях осложняет наличие источников техногенного загрязнения, связанных не только с деятельностью рудников, но и с сопутствующим производством Приаргунского горно-химического комбината.

Распределение тория и урана в листьях тополя на исследуемой территории установлено И.Г. Берзиной и др. методом f-радиографии [5]. Использование метода f-радиографии позволили авторам в зоне влияния уранодобывающего предприятия идентифицировать пути проникновения в листья тополя и формы проявления делящихся элементов в них. Установлено, что, если делящиеся элементы попадают в растения через корневую систему, то их проявление повторяет макроструктуру листа. Если же на растении осаждаются радиоактивные пылевидные частицы, то распределение делящихся элементов в листе не повторяет его макроструктуру. При этом отображение на детекторе таких загрязнений имеет специфическую, характерную для пыли

Таблица 1. Содержание тория, урана (г/т) и показатель их соотношения в золе листьев тополя на территории г. Краснокаменска (n=5)

Химический элемент	Селитебная зона	Промышленная зона
Th	0,8 / (0,6–1,0)	1,0 / (0,6–1,7)
U	0,5 / (0,4–0,5)	2,8 / (1,7–4,1)
Th/U	1,8	0,4

Таблица 2. Содержание тория, урана (г/т) и показатель их соотношения в образцах пылеаэрозолей с разным содержанием частиц угля (%) на урбанизированной территории г. Благовещенска

№ пробы	Содержание угля	Th	U	Th/U
AM-28	75	19,7	4,6	4,3
AM-1	62	18,4	4,2	4,4
AM-11	12	10,0	2,7	3,8
AM-16	5	8,6	1,8	4,8

конфигурацию. При этом микроскопические частицы урана на поверхности листьев тополя установлены на расстоянии 20 км от уранового месторождения [5].

Среднее содержание Th и U по данным ИНАА в золе листьев тополя, отобранных в селитебной и промышленной зонах г. Краснокаменска, приведены в таблице 1.

Среднее содержание Th в образцах в селитебной зоне составляет 0,8 г/т, U – 0,5 г/т, соотношение Th/U – 1,8. В промышленной зоне (карьер, отвалы, стволы шахт, хвостохранилища, гидрометаллургический и сернокислый заводы) среднее содержание Th в образцах – 1,0 г/т, максимальное – 1,7 г/т; средние содержания U – 2,8 г/т, максимальное – 4,1 г/т, отношение Th/U (по средним значениям) – 0,4. Низкое значение Th/U соотношения (<1) в золе листьев тополя в г. Краснокаменске является техногенной аномалией, свидетельствующей о наличии мощного источника эмиссии урана в окружающую среду, вызванной добычей и первичной переработкой урановых руд месторождений на Стрельцовском рудном поле.

Другим показателем геохимической трансформации окружающей среды служит коэффициент концентрации ( $K_c > 3$ ), рассчитанный с использованием данных о среднем содержании элементов совокупной выборки проб листьев на территории городов Азиатской части России и Казахстана. Построенный по  $K_c$  геохимический ряд показал, что в г. Краснокаменске выделяется устойчивая уран-ториевая специализация:  $U(6,5) > Th(3,1)$  [16].

Таким образом, с помощью методов f-радиографии и био-геохимии выявлены источники радиоактивного загрязнения окружающей среды, а также пути поступления радиоактив-

ных элементов в растения; с помощью метода ИНАА в золе листьев тополя определены содержания урана и тория, уровень концентрации которых отражает геохимическую специализацию урандобывающего производства.

Предприятия топливно-энергетического комплекса (ТЭК). Влияние ТЭК, как техногенного фактора, на содержание тория и урана в листьях тополя рассмотрено на примере г. Благовещенска Амурской области, где работают ТЭЦ и ряд промышленных предприятий. Топливом для ТЭЦ служат бурые угли Ерковецкого, Райчихинского и Харанорского месторождений со средним содержанием в углях: U – 1,0; 1,5; 2,9 г/т и Th – 3,6; 3,8; 1,4 г/т; в золе углей: U – 7,0; 11,0; 29,0 г/т; Th – 25,4; 27,9; 14,0 г/т соответственно [2].

Содержание тория и урана в образцах пылеаэрозолей с различным содержанием частиц угля (по данным минералогического анализа) на территории г. Благовещенска приведены в таблице 2. Из данных этой таблицы следует, что с увеличением содержания угольных частиц в пробах пылеаэрозолей происходит отчетливое возрастание содержания тория и урана, при этом показатель Th/U соотношения снижается [14].

Анализ характера накопления и распределения урана и тория в почве и в золе листьев тополя на территории г. Благовещенска позволил выявить следующие особенности. По значению коэффициента вариации, согласно данным таблицы 3, однородные выборки (< 50%) установлены для Th и U в почвенном покрове; в золе листьев тополя сильно неоднородные (70–100%) выборки – у Th и крайне неоднородные (>100%) – у U.

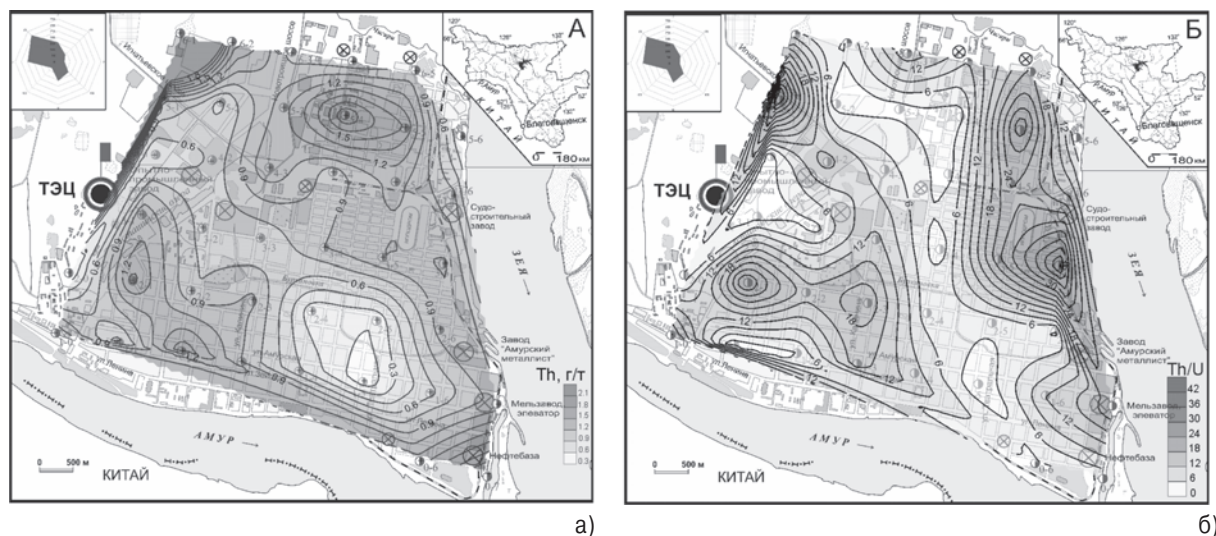
Средние содержания урана и тория в городских почвах (n) в 7–8 раз превышают их содержания в золе листьев тополя (0,n) при незначительном разбросе (в 2–3 раза) между минимальными и максимальными содержаниями. Также рассчитан показатель соотношения Th/U. В почве данное отношение равно 3,6, а в золе листьев тополя – 2,9.

Коэффициент концентрации по средним содержаниям тория в золе листьев тополя составил 3,3, урана – 1,2, что свидетельствует о наличии источника поступления тория на урбанизированную часть города. Пространственное распределение тория и значений соотношения Th/U на территории г. Благовещенска показано на рисунке 1.

Контрастные ореолы тория (рис. 1 А) и максимальных значений Th/U соотношения (рис. 1 Б) сосредоточены в северо-западном промышленном узле города,

Таблица 3. Содержание тория, урана (г/т) и показатель их соотношения в почве и листьях тополя на урбанизированной территории г. Благовещенска (n=40)

Химический элемент	Почва		Листья тополя	
	Содержание (среднее/min-max)	Коэффициент вариации, %	Содержание (среднее/min-max)	Коэффициент вариации, %
Th	(8,1±0,3) / (4,8–12,5)	24	(1,0±1,1) / (0,02–4,8)	80
U	(2,3±0,1) / (1,4–4,7)	28	(0,3±0,06) / (0,02–1,3)	119
Th/U		3,6		2,9



**Рис. 1.** Распределение тория (а) и соотношения Th/U (б) в золе листьев тополя на территории г. Благовещенска

где расположены ТЭЦ и золоотвал, а также вдоль береговых линий крупных рек Амура и Зеи, где работают судостроительный и машиностроительный заводы. Кроме техногенного фактора существует воздействие природного фактора – ветрового переноса минеральных частиц (монацита, циркона) с пылью с береговых отелей рек, что доказано минералогическими и электронно-микроскопическими исследованиями образцов пылеаэрозолей и верхнего горизонта почвы. На это указывает и соотношение Th/U в почве, близкое к значению 3,9 для верхней континентальной коры. Ореол с минимальными значениями соотношения Th/U (1,0–2,0) в золе листьев тополя отчетливо картирует зону воздействия подфакельных выбросов ТЭЦ (рис. 1 Б).

Проведенный анализ опубликованных и полученных данных содержания тория и урана в листьях тополя в сопряженных природных средах и на урбанизированных территориях показал, что эти элементы могут являться индикаторными элементами – геохимическими трассерами, отражающими вклад как природного (геохимический состав подстилающих горных пород), так и техногенного фактора в эколого-геохимическую характеристику города. А величина Th/U соотношения может служить количественным геохимическим индикатором трансформации окружающей среды в пределах урбанизированных территорий.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФ № 15–17–1001.

#### Литература

1. Алексеенко В.А. Эколого-геохимические изменения в биосфере. Развитие, оценка. – М.: Универ. Книга; Логос, 2006. – 520 с.
2. Арбузов С.И., Волостнов А.В., Ильенок С.С., Рыбалко В.И. Радиоактивные элементы (U, Th) в углях // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы IV международной конф. (Томск, 4–8 июня 2013). – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – С. 56–62.
3. Барановская Н.В. Закономерности накопления и распределения химических элементов в организмах природных и природно-антропогенных экосистем: автореф. дис. ... докт. биол. наук. – Томск, 2011. – 46 с.
4. Баргальи Р. Биогеохимия наземных растений. Пер. с англ. И.Н. Михайловой. – М.: Геос, 2005. – 457 с.
5. Берзина И.Г., Герцен Г.П., Столяров С.В. и др. Выявление радиоактивного загрязнения окружающей среды методом радиографии // Геохимия. – 1993. – № 3. – С. 449–456.
6. Битюкова В.Р., Касимов Н.С., Власов Д.В. Экологический портрет Российских городов // Экология и промышленность России. – 2011. – № 4. – С. 6–18.
7. Величкин В.И., Чуднявцева И.И. Ландшафтно-геохимические исследования при оценке радиоэкологического состояния окружающей среды в зоне влияния уранодобывающего и перерабатывающего комплекса (на примере Стрельцовского Мо-U рудного поля) // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. – 2009. – № 2. – С. 99–114.
8. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. – М.: Высшая школа. – 1988. – 328 с.
9. Гребенщикова В.И. Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский геоэкологический полигон) / В.И. Гребенщикова, Э.Е. Лустенберг, Н.А. Китаев, и др.; науч. ред. акад. М.И. Кузьмина; Ин-т геохимии им. А.П. Виноградова. – Новосибирск: Гео, 2008. – 324 с.
10. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. – М.: Академия, 2003. – 400 с.
11. Ермаков В.В. Геохимическая экология и биогеохимические критерии оценки экологического состояния таксонов биосферы // Геохимия. – 2015. – № 3. – С. 203–221.
12. Ковалевский А.Л., Ковалевская О.М. Биогеохимия урановых месторождений и методические основы их поиска. – Новосибирск: Гео, 2010. – 362 с.
13. Ковальский В.В. Геохимическая экология. Очерки. – М.: Наука, 1974. – 229 с.

14. Павлова Л.М., Радомская В.И., Юсупов Д.В. и др. Уран и торий в пылевых аэрозолях на трансграничной (Россия – Китай) урбанизированной территории // *Экология урбанизированных территорий*. – 2014. – № 2. – С. 102–108.
15. Рихванов Л.П., Арбузов С.И., Барановская Н.В. и др. Радиоактивные элементы в окружающей среде // *Известия Томского политехнического университета*. – 2007. – Т. 311, № 1. – С. 128–136.
16. Рихванов Л.П., Юсупов Д.В., Барановская Н.В. и др. Элементный состав листьев тополя как биогеохимический индикатор промышленной специализации урбасистем // *Экология и промышленность России*. – 2015. – Т. 19, № 6. – С. 58–63.
17. Саев Ю.Е., Ревич В.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
18. Тютюнник Ю.Г. Техногенез урана. – Чернобыль, 1996. – 86 с.
19. Ялалтдинова А.Р., Барановская Н.В., Рихванов Л.П. Влияние выбросов промышленных предприятий г. Усть-Каменогорска на формирование элементного состава листьев тополя // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. – 2014. – № 2. – С. 108–113.
20. Trace element Composition of poplar in Mongolian Cities / N.E. Koshelova, I.V. Timofeev, N.S. Kasimov et al. // *Biogenic-abiogenic interactions in natural and anthropogenic systems, lecture notes in earth system sciences / O.V. Frank-Kamenetskaya et al. (eds.)*. – Springer, 2016. – P. 165–177.

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ (ОБЗОР)

А.В. Яблоков

Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН, Москва, Россия, alexey.ablokov@gmail.com

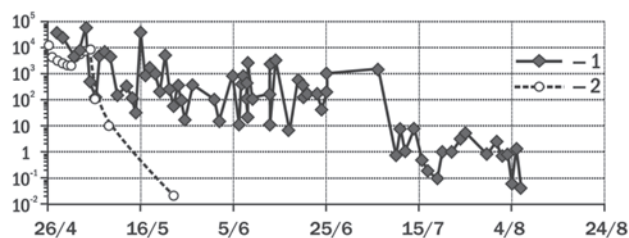
## SOME PECULIARITIES OF SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF RADIONUCLIDES AFTER CHERNOBYL DISASTER (REVIEW)

A.V. Yablokov

Koltzov Institute of Developmental Biology RAS, Moscow, Russia

Анализ многих публикаций по распределению разных радионуклидов после Чернобыльской катастрофы в пространстве и времени показывает, что многократно большие мощности облучения, генерированные другими радионуклидами в период до середины октября 1986 г. требуют существенной корректировки всех расчетных уровней облучения, основанных на учете лишь Cs-137; расчетные эффективные дозы, полученные населением, ликвидаторами и видами живой природы могут оказаться многократно заниженными; специфическая для разных радионуклидов пятнистость загрязнения после Чернобыльской катастрофы исключает возможность корректного определения эффективной дозы для территорий больше порядка одного га.

Значительные активные выбросы радионуклидов в атмосферу из взорванного реактора четвертого блока ЧАЭС продолжались много дольше, чем считается в большинстве исследований. В результате рассекречивания данных, стало известно, что мощные выбросы из разрушенного реактора продолжались не до 17 мая 1986 г., а до 10 июля 1986 г. На рисунке 1 представлены данные по динамике этих выбросов, из которых видно, что использованные для всех расчетов НКДАР ООН и МАГАТЭ данные существенно занижены по сравнению с реальным выбросом.



Естественно, что и общее количество выброшенных радионуклидов, скорее всего, было существенно выше официально принятой величины в 5 000 ПБк [8].

Состав дозообразующих радионуклидов в первые дни, недели и месяцы существенно различался на разных, даже близкорасположенных, территориях (табл. 1).

Изменение состава радионуклидов на территориях в первые дни и недели после Катастрофы связано, как с разной композицией смеси радионуклидов, истекавших из реактора, так и с распадом короткоживущих радионуклидов. Только начиная с 1988–1989 гг., (и до настоя-

**Рис. 1.** Динамика выбросов по пятидневкам в период с 26 апреля – 7 августа 1985 г. радиоактивных газо-аэрозолей в атмосферу из четвертого реактора Чернобыльской АЭС. Квадраты и сплошная линия – удельная бета-активность проб воздуха (по результатам авиационного мониторинга Вооруженными силами СССР) над ЧАЭС (Бк/м<sup>3</sup>); кружки и пунктир – данные по мощности выбросов, представленные СССР в МАГАТЭ [1].