

94-338



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
Дубна

P16-94-338

Л.Т.Бат\*, В.П.Бамблевский, Д.А.Минь\*,  
Т.С.Тху\*, В.Х.Туан\*, Н.В.Донг\*, Н.Н.Ву\*,  
Н.В.Фонг\*, К.Н.Винь\*, Х.Т.Лен\*

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ  
РАДИОИЗОТОПОВ В ИГЛАХ СОСНЫ  
ВО ВЬЕТНАМЕ ПОСЛЕ АВАРИИ  
НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

---

\*Центр ядерных исследований — Национальный центр научных исследований Вьетнама, Ханой

1994

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Начиная с шестидесятых годов отмечалась определенная корреляция между уровнями удельной радиоактивности в иглах сосны и выпадениями продуктов ядерных взрывов/1/. Впоследствии иглы сосны (и.с.) рассматривались как удобный биоиндикатор радиационного загрязнения приземного слоя воздуха, изучались закономерности и характер колебаний содержания радиоактивности после испытаний ядерного оружия, аварий на АЭС и специальных экспериментов /2-7/. В недавних публикациях и.с. рекомендовались в качестве удобного и высокочувствительного биоиндикатора для дополнительного контроля радиоактивности внешней среды и в первую очередь за контролем радиоактивности воздуха /5-7/.

В данной работе представлены результаты измерений содержания радионуклидов в и.с. после аварии на ЧАЭС, а также отмечены некоторые закономерности динамики содержания концентраций радиоактивности в и.с. в сопоставлении с концентрацией радиоактивности в приземном слое воздуха.

## 2. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Исследования выполнены в два этапа: 1) с июня 1986 до конца 1986 года; 2) в течение 1987 и 1988 гг. Главной целью второго этапа являлось установление возможных сезонных колебаний изотопа  $^{137}\text{Cs}$  в и.с. и наблюдение динамики содержания  $^{137}\text{Cs}$  в молодых и.с. в зависимости от их возраста. Одновременно проводились измерения содержания  $^{137}\text{Cs}$  в осадках.

Пробы и.с. отбирались в двух пунктах А и В г. Ханоя, площадью каждый  $\approx 3$  га; другие пункты отбора С, Д, Е находились в южном направлении от Ханоя на расстояниях соответственно 300, 900 и 1200 км. В фауне Вьетнама распространено несколько типов сосен. Нами изучались два наиболее распространенных типа сосны *Pinus Merkusii* Jungh et de Vries и *Pinus Massoniana* Lambert. Отбор осадков проводился раз в месяц специальными пробоотборниками площадью 0,6–1 м<sup>2</sup>. Пробы и.с. отбирались через 15–20 дней, масса сырых игл сосны каждой пробы составляла 2–2,5 кг. Затем проба высушивалась при температуре не более 100°C в течение 8–10 часов, прокаливалась при температуре 450°C в течение 15–20 часов, и затем зола и.с. прессовалась в цилиндрическом контейнере из ПВХ диаметром 76 или 56 мм до высоты, соответствующей стандартному градуировочному источнику GMT-3/5/. Некоторые пробы, массой сырых игл 0,4–0,7 кг после высушивания, были измерены в контейнере типа Marinelli объемом 1200 см<sup>3</sup> с целью выбора оптимальной геометрии измерения и экспресс-оценки уровня радиоактивности в и.с. Измерения проводились в основном на низкофономом гамма-спектрометре с детектором из сверхчистого германия объемом 62 см<sup>3</sup> /6/ в течение 6–10 часов со статистической точностью не более +15% для  $^{137}\text{Cs}$ ; некоторые пробы измерялись в ОРБ и РИ также на низкофономом спектрометре с Ge(Li)-детектором объемом 72 см<sup>3</sup> /7/ в течение 17 часов со статистической точностью не более 10%.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ 1986 ГОДА

Результаты измерения концентрации радиоизотопов Q в и.с. представлены в таблице, а типичный аппаратный спектр гамма-излучения --- на рис. 1.

Максимальное содержание  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{134}\text{Cs}$  наблюдалось в июле, затем их концентрация убывала к декабрю. Не обнаружены изотопы Ce-144 - Pr-144, хотя эта пара изотопов обнаружена в июне 1986 г. в аэрозолях воздуха г.Ханоя/6/. Наоборот, неожиданно обнаружено кратковременное появление Co-60 в некоторых пробах. Из анализа полученных результатов можно сделать вывод, что непродолжительное (~0,5 года) превышение доаварийного уровня долгоживущих изотопов на всей территории Вьетнама было весьма незначительным -- не более 2-3 Бк/кг в сухих иглах. В некоторых районах земного шара, удаленных от ЧАЭС на такое же расстояние, аналогичное превышение было почти на порядок больше.

Таблица.

Содержание радиоизотопов Q(Бк/кг) в сухих иглах сосны в 1986 г.

Пункт отбора	месяц		6	7	8	9	10	11	12	
	изотоп									
А,В	$^{137}\text{Cs}$	а	3,4	5,0	4,8	3,8	3,0	3,5	3,6	
		б	2,7	2,5	2,4	2,0	2,2	3,2	3,0	
	$^{134}\text{Cs}$	а	1,3	1,8	1,2	1,1	1,2	1,0	(0,6)	
		б	0,8	0,5	(0,3)	0,5	0,7	0,8	(0,4)	
	$^{103}\text{Ru}$	а	1,9	1,3	1,0	(0,5)	(0,3)	---	---	
		б	0,6	(0,3)	---	---	---	---	---	
	$^{106}\text{Ru}$	а	0,9	(0,2)	---	---	---	---	---	
		б	0,6	(0,3)	---	---	---	---	---	
	$^{60}\text{Co}$	а	2,1	1,2	(0,4)	---	---	---	---	
		б	1,0	---	(0,2)	---	---	---	---	
	С	$^{137}\text{Cs}$	а	НИ	НИ	5,0	4,2	НИ	НИ	3,2
		$^{134}\text{Cs}$	а	НИ	НИ	1,8	1,5	НИ	НИ	(0,5)
Д	$^{137}\text{Cs}$	а	НИ	НИ	4,3	5,0	НИ	НИ	НИ	
	$^{134}\text{Cs}$	а	НИ	НИ	1,1	1,1	НИ	НИ	НИ	

а - для старых и.с.; б - для молодых и.с., возраст которых в июне составлял 5 месяцев; в скобках указаны результаты со статистической ошибкой более 25%; "НИ" - не измерялось; --- - не обнаружено.

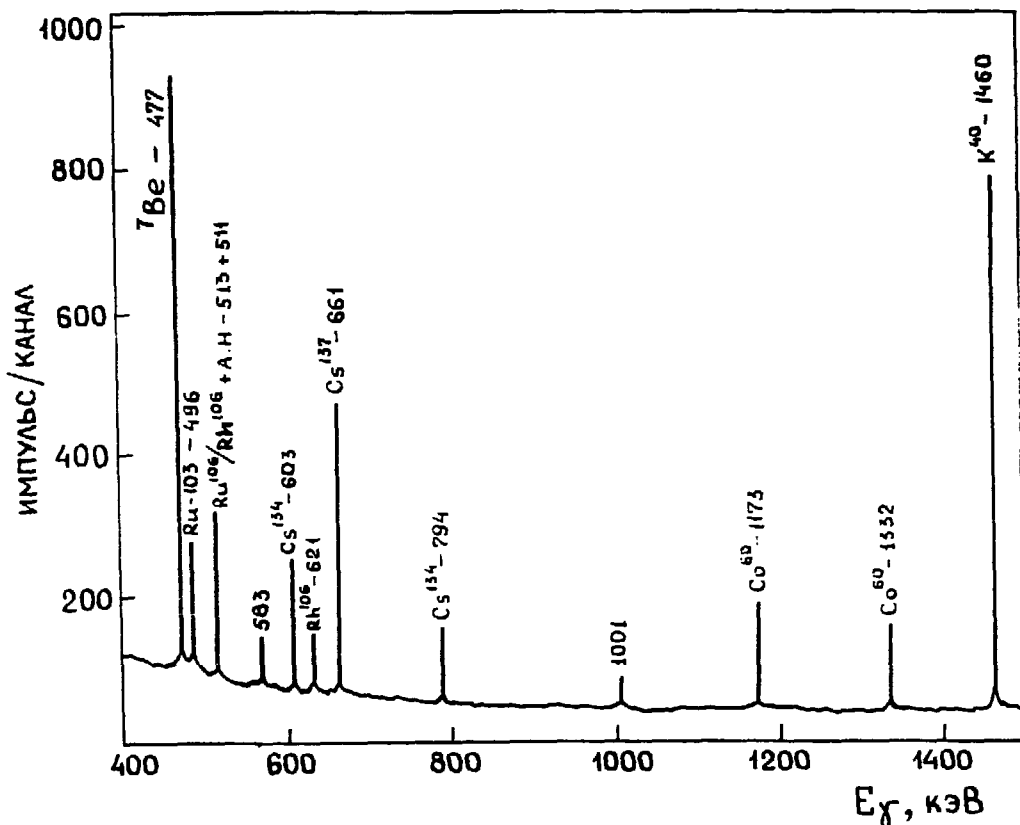


Рис.1. Гамма-спектр пробы игл сосны, отобранной в июне 1986 г.

#### 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ 1987-1988 гг.

Динамика содержания  $^{137}\text{Cs}$  в молодых и.с. *Pinus Massoniana*, Lambert до конца 1987 года представлена на рис. 2а. Кроме  $^{137}\text{Cs}$  в этих пробах обнаружен также  $^{134}\text{Cs}$  на уровне 0,2 Бк/кг в сухих иглах. В целом содержание  $^{137}\text{Cs}$  в молодых и.с. с июня 1986 г. больше содержания  $^{137}\text{Cs}$  в молодых и.с., появившихся в начале 1988 года (рис.2б). Как и в работе /7/, динамику изменения  $^{137}\text{Cs}$  в молодых (до  $\approx 11$  месяцев) иглах сосны здесь можно описать выражением:

$$Q(t) = a_1 \exp(-\lambda_1 t) + a_2 \exp(-\lambda_2 t), \quad (1)$$

где  $Q(t)$  --- концентрация  $^{137}\text{Cs}$ (Бк/кг) в зависимости от возраста  $t$  молодых и.с. Для сравнения на рис.2а,б указаны уровни содержания  $^{137}\text{Cs}$  в осадках. Анализируя данные таблицы и рис. 2а,б, мы еще раз подтверждаем ранее установленный факт/7/: молодые и.с. менее заметно, чем старые, реагируют на колебания содержания радиоактивности в воздухе. При непродолжительных и незначительных колебаниях (до двух раз) концентраций в воздухе молодые и.с. в основном подчиняются закономерности (1).

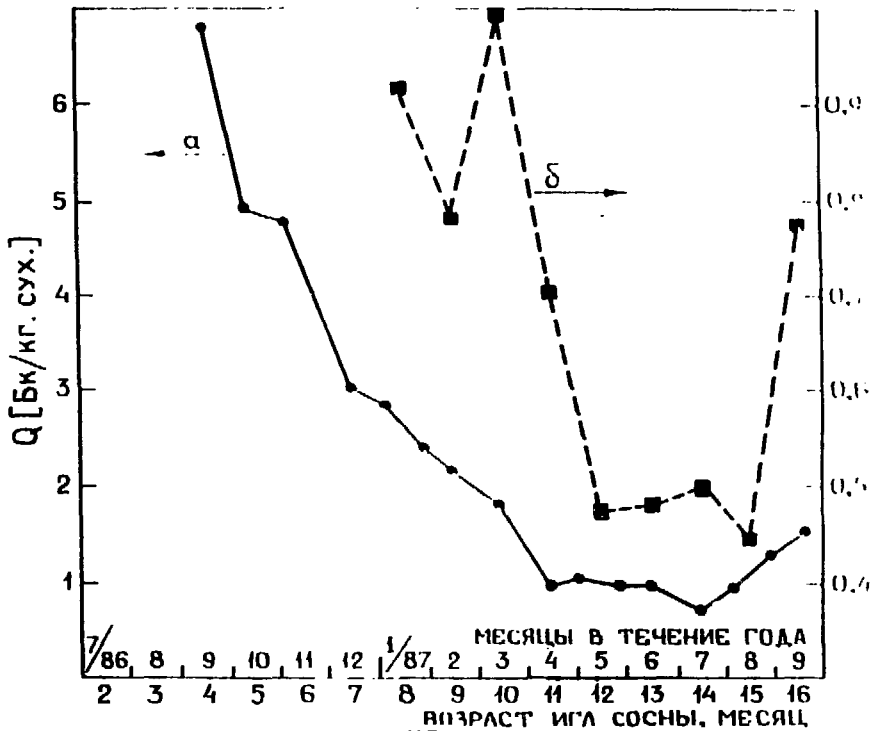


Рис.2а. а — содержание изотопа  $^{137}\text{Cs}$  в сухих молодых и.с. типа *Pinus Massoniana*, Lambert в зависимости от возраста и.с. за период до конца 1987 года;  
 б — содержание  $^{137}\text{Cs}$  в осадках из приземного слоя воздуха (отн.ед.)

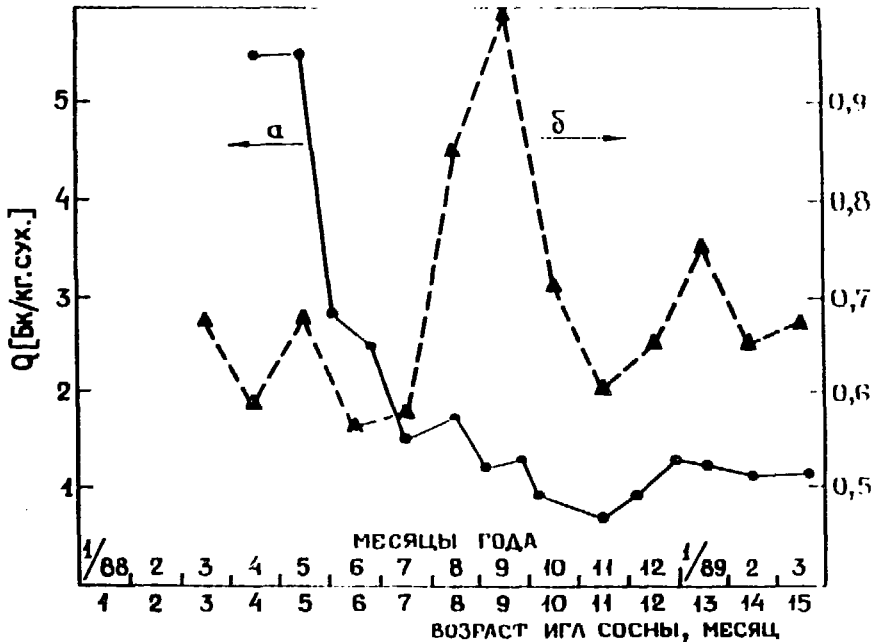


Рис.2б. а — содержание  $^{137}\text{Cs}$  в сухих молодых и.с. типа *Pinus Massoniana*, Lambert в зависимости от возраста и.с. за период с 1988 г. до начала 1989г.  
 б — содержание  $^{137}\text{Cs}$  в осадках из приземного слоя воздуха (отн.ед.)

На рис. 3 представлены результаты измерений  $Q$  для  $^{137}\text{Cs}$  в старых и.с. типа *Pinus Merkusii* Jungh et de Vries в течение 1987–1988 гг. в пунктах А и В. Видно, что  $Q$  в 1987 г. в целом больше, чем в 1988 г., хотя это превышение небольшое. В работе /10/ представлены результаты измерений  $Q$  изотопов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{134}\text{Cs}$  в Московской области к концу 1987 г., которые достигли доаварийных уровней. Полученные данные подтверждают прогноз /8,9/ для миграции  $^{137}\text{Cs}$  продолжительностью 1–2 года после аварии. Таким образом, значения  $Q$  в 1988 г. можно считать обычными (доаварийными) значениями для изотопа  $^{137}\text{Cs}$ , равными  $1,2 \pm 0,6$  Бк/кг в сухих иглах. Минимальное значение  $Q$  для  $^{137}\text{Cs}$  обнаружено на юге Вьетнама в пункте Е. С учетом этого полученные в данной работе отношения  $Q$  для  $^{137}\text{Cs}$  к  $Q$  для  $^{134}\text{Cs}$  в выпадениях 1986 г. оказались равными приблизительно 0,5, что хорошо совпадает с литературными данными /9,10/.

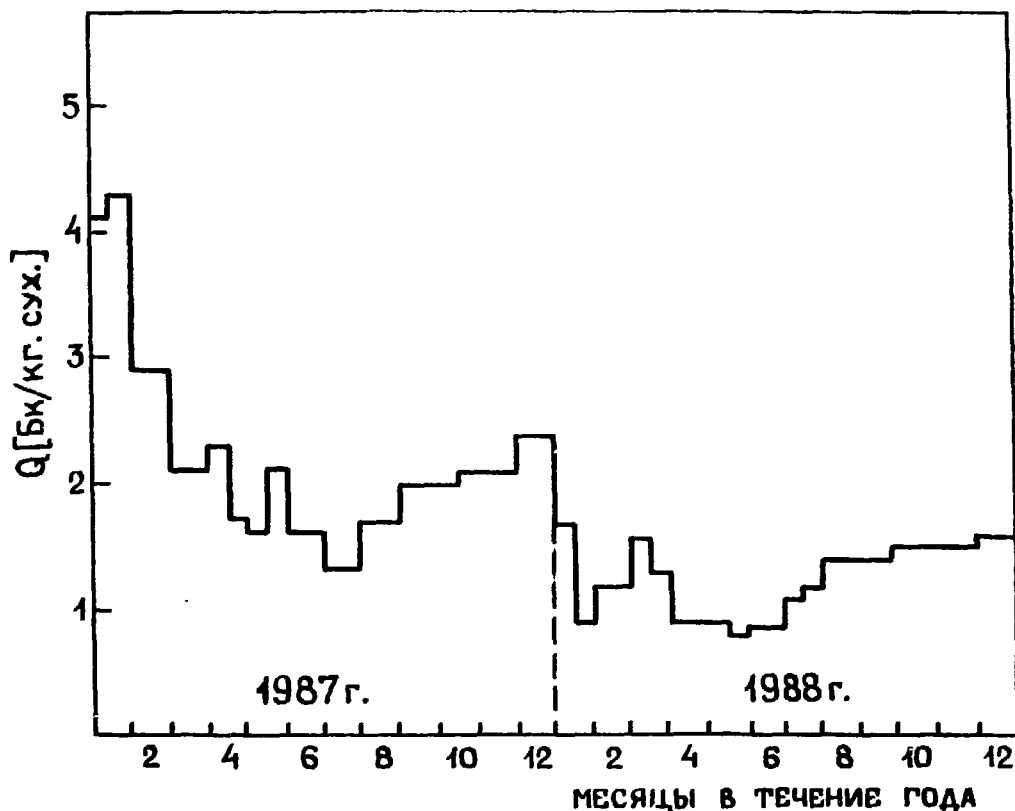


Рис.3. Результаты измерений (в течение двух лет) содержания изотопа  $^{137}\text{Cs}$  в высушенных иглах сосны типа *Pinus Merkusii* Jungh et de Vries; возраст игл 12–15 месяцев

На рис.4 представлены усредненные колебания значения  $Q$  для Cs-137 в течение двух лет для двух рассматриваемых типов сосны. Можно отметить, что иглы сосны типа *Pinus Massoniana*, Lambert имеют меньший диаметр и меньший период полувыведения, чем иглы сосны типа *Pinus Merkusii* Jungh

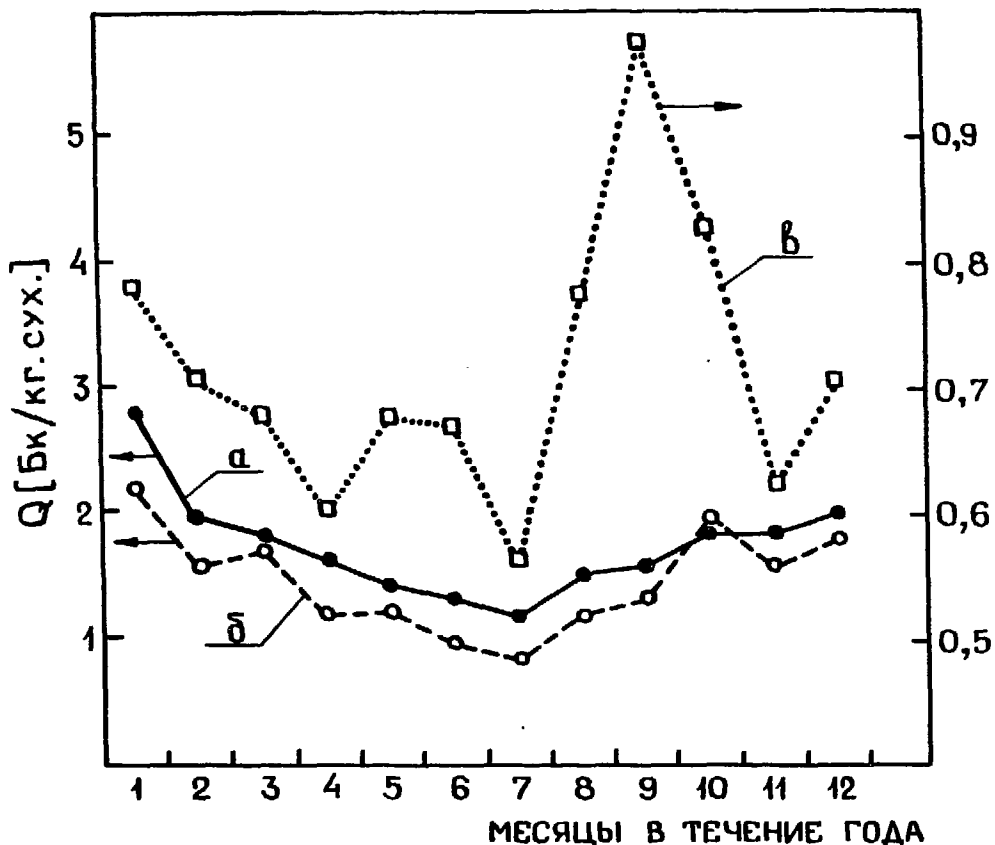


Рис.4. Усредненные, в течение 1987-1988 гг., месячные значения содержания  $^{137}\text{Cs}$  в высушенных иглах сосны в возрасте 12 - 15 месяцев:  
 а — для сосны типа *Pinus Merkusii* Jungh et de Vries;  
 б — для сосны типа *Pinus Massoniana*, Lambert;  
 в — усредненные месячные уровни радиоизотопа  $^{137}\text{Cs}$  в осадках (отн.ед.)

et de Vries. Поэтому и.с. типа *Pinus Massoniana*, Lambert в наших условиях являются наиболее чувствительными биоиндикаторами.

Видно, что сезонные колебания  $Q$  в и.с. в целом соответствуют аналогичным колебаниям в осадках. Сезонные колебания можно объяснить влиянием постоянного муссона в северо-восточном направлении осенью и зимой. Летом появляются юго-восточный ветер и морской бриз. Перемещающиеся большие массы воздуха способствуют циркуляции  $^{137}\text{Cs}$ , а обильные сезонные дожди способствуют его выпадению /5/.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Повышение концентрации радиоизотопов после аварии на ЧАЭС на территории Вьетнама оказалось незначительным и практически прекратилось к концу 1987 г.

2. Иглы сосны являются удобным и высокочувствительным биоиндикатором для дополнительного контроля радиоактивности внешней среды. При необходимости пробы и.с. следует отбирать через 2-3 дня для получения более подробной информации о колебаниях радиоактивности в воздухе.
3. Еще раз подтвержден экспоненциальный характер динамики изменения концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в молодых и.с.
4. Обычное содержание  $^{137}\text{Cs}$  в старых и.с. составляет  $1,2 \pm 0,6$  Бк/кг в сухих иглах на территории Вьетнама.
5. Установлены эмпирические закономерности сезонных колебаний  $^{137}\text{Cs}$  в и.с. и в осадках.

Авторы выражают благодарность Ф.К.Диен, Ф.Т.М.Хань, Н.Т.Винь, А.Н.Каргину за помощь в измерениях, М.М.Комочкову за внимание и поддержку в работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Szepe R. Atompraxis, 1963, v.6, N 3, p.218.
2. Rapid Methods for Measuring Radioactivity in the Environment. Proc. of the Int.Symp., Neuherberg, 5-9 July, 1971. IAEA, Vienna, 1971.
3. Moimoshima N., Takushima Y. J.Radioan. and Nuclear Chem., 1981, v.67, p.385.
4. Methods of the low-level counting and Spectrometry. Proc. of the Symp., Berlin, 6-10 April, 1981, IAEA, Vienna, 1981.
5. Bat Luu Tam . Va ctv cong cu. UBKH vu KTNN, N 66 A.01.04, 1991.
6. Бат Лыу Там, Бамблевский В.П. и др. Сообщение ОИЯИ Р16-91-547, Дубна, 1991.
7. Бат Лыу Там, Бамблевский В.П. Сообщение ОИЯИ Р16-91-548, Дубна, 1991.
8. Sources, Effect and Risks of Ionising Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations, New York, 1988.
9. Глобальные выпадения продуктов ядерных взрывов как фактор облучения человека. Под ред. А.Н.Морся. 1980, М., Атомиздат.
10. Телушкина Е.Л. и др. 1991, АЭ, т.70, вып.1, с.43.

Рукопись поступила в издательский отдел  
19 августа 1994 года.