

более плутоний-239 остались, в основном в 30-километровой зоне.

Свою дозиметрическую службу сама Белоруссия организовать не смогла: объем работ был настолько большим, что ни специалистов, ни приборов не хватало. Однако к осени 1986 г. эта служба была налажена, и отношение населения к радиационной обстановке изменилось. Жители загрязненных районов получили возможность оценивать обстановку более объективно. В совхозах и на предприятиях агропромышленного комплекса рабочих информировали о результатах радиометрических исследований молока, мяса. Ветеринарная радиометрическая служба контролировала весь процесс заготовки продуктов, начиная с республиканских и областных лабораторий. Были организованы передвижные радиометрические лаборатории и радиометрические отряды, обеспечивавшие ветеринарно-санитарный контроль каждого колхоза и каждой бригады. В населенных пунктах, в которых не было колхозных или совхозных животноводческих хозяйств, животноводческую продукцию личных хозяйств контролировали дозиметрические посты. Были разработаны методики, которые давали

возможность проводить дозиметрию любого продукта, начиная с ягод и кончая молоком, мясом в той таре, которую приносил хозяином. Для проведения дозиметрического контроля продукта по упрощенной схеме требовалось всего 2—3 минуты.

Таким образом, благодаря полноценному радиометрическому контролю животноводческой продукции отношение населения к радиационной обстановке стало более объективным, что в значительной степени способствовало снижению радиофобии.

Поступила 01.04.94.

# EXPERIENCE OF THE PROPHYLACTIC MEDICAL EXAMINATION OF AGRICULTURAL ANIMALS AND SANITARY EXAMINATION OF FOODSTUFFS AT THE REGION SUFFERING FROM THE ACCIDENT AT THE CHERNOBYL NUCLEAR POWER STATION

V. A. Kirshin

## Summary

The nature of thyroid changes determined pathohistologically in agricultural animals allowed to be oriented in the contamination density of the region by iod-131 providing support by aerogammaspectrometry data. Nearly complete thyroid aplasia of cattle corresponding to the dose load on it in 300—500 Sv occurred at the regions where the contamination density by iod-131 reached 2,4 MBq/m<sup>2</sup>.

УДК 621.386.82

## ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКИХ И РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ ДОЗИМЕТРИИ

И. С. Бадюгин

Кафедра медицины катастроф (зав.—доц. Ш. С. Каратай)  
Казанского института усовершенствования врачей

Задача биологической дозиметрии при проведении медицинской сортировки значительно облегчается при использовании гематологических номограмм [2]. Номограммы характеризуют количественные изменения элементов крови на протяжении 45 суток после возникновения костномозговой формы острой лучевой болезни (ОЛБ) различной тяжести (рис. 1 и 2).

В периоде первичной лучевой реакции ОЛБ симптомо-маркером служит уровень лимфопении. Нейтропения становится симптомом-маркером в скрытом периоде ОЛБ, на 10—15-е сутки после облучения. Тромбоцитопения приобретает важное диагности-

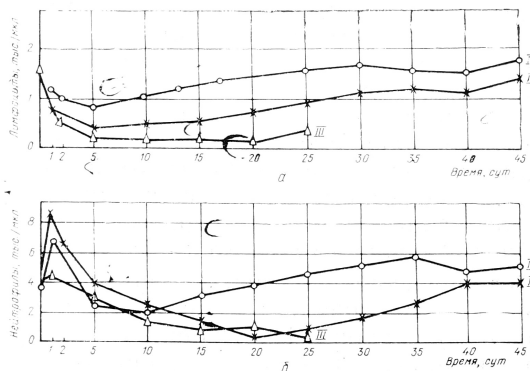


Рис. 1. Динамика изменений количества лимфоцитов (а) и нейтрофилов (б) в периферической крови в зависимости от степени тяжести ОЛБ.

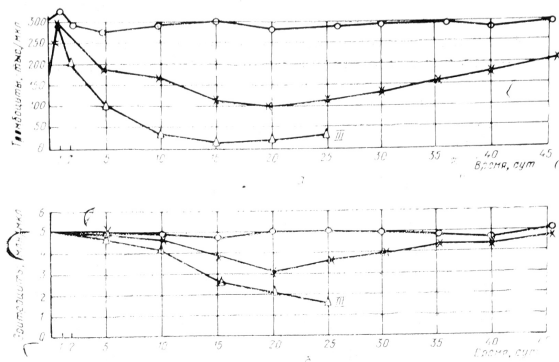


Рис. 2. Динамика изменений количества тромбоцитов (а) и эритроцитов (б) в периферической крови в зависимости от степени тяжести ОЛБ.

ческое значение в начале стадии разгара ОЛБ, то есть на 4-й неделе заболевания. Наиболее инертным и устойчивым показателем крови является количество эритроцитов, уменьшение которого наблюдается через 6 недель после облучения и перехода болезни в хроническую форму. Гематологический метод дозиметрии адекватен клинически выраженным формам ОЛБ, возникающей от внешнего равномерного гамма-облучения в диапазоне доз от 1 до 10 Гй (100—1000 рад). Точно определить дозу и равномерность облучения можно цитогенетическим методом, в основу которого положена линейная зависимость частоты хромосомных aberrаций лимфоцитов и костномозговых клеток от дозы облучения. Чувствительность метода, к сожалению, ограничена порогом в 50 сЗв (бэр) [3].

В последние годы все чаще стал применяться радиоспектроскопический метод выявления электронного парамагнитного резонанса. Возникающие под влиянием ионизирующего излучения свободные радикалы изменяют напряженность магнитного поля и при облучении в дозах выше 30 сЗв (бэр) длительно сохраняются в твердых тканях. Однако необходимость экстракции зубов или проведения костной биопсии ограничивает распространение метода [1, 4].

Гематологические, цитогенетические и радиоспектроскопические методы индивидуальной дозиметрии можно отнести к морфометрическим исследованиям, имеющим высокий порог чувствительности.

Возможность определения действия на организм малых доз радиации открывается при исследовании происходящих функциональных сдвигов. В этой связи уместно вспомнить гипотезу Н. В. Тимофеева-Ресовского о трех принципах действия радиации на организм: принципов попадания, мишени и усилителя [8]. Принципу усилителя на уровне целостного организма в наибольшей степени отвечает нейро-эндокринная дисрегуляция, возникающая на самой ранней стадии лучевой болезни. Поэтому целесообразно проследить изменения уровня гормонов и электровозбудимости ЦНС. Заслуживает внимания метод определения [5] содержания тиреоидных и глюкокортикоидных гормонов под влиянием 0,5 сЗв (бэр).

Неврологическое обследование участников ликвидации аварии на ЧАЭС показывает, что малые дозы облучения увеличивают концентрацию липоперекисей и вызывают сосудистые и даже структурные изменения в глубинных отделах головного мозга (лимбическая система, ретикулярная формация), которые становятся источником эпилептиформной активности на ЭЭГ.

Как ни привлекательны для клиницистов методы биологической дозиметрии, их трудно использовать для наблюдения за обширными популяциями. Непригодными оказались и физические методы дозиметрии малых доз облучения. Международная исследовательская группа «Чернобыльский проект» применила в 1990 г. для этой цели чувствительные и надежные французские пленочные дозиметры с порогом восприятия 2 сГй (рад). Более 8000 человек, проживающих на загрязненных территориях Брянской, Гомельской и Киевской областей, пользовались таким дозиметром в течение 2 месяцев. У 7200 человек показания дозиметров не изменялись, у остальных они оказались испорченными.

В. Я. Голиков и К. П. Кедров [3] считают, что ретробидозиметрия, основанная на расчетных данных, непригодна для персональных оценок. Однако, по нашему мнению, применение расчетных методов определения эффективных эквивалентных доз оправдывает себя при проведении массо-

Влияние загрязнения изотопами цезия на мощность гамма-излучения (высота 1 м)

Нумерация радиоактивных пятен	Плотность загрязнения				Мощность дозы, мкР/ч (сГй/ч)	Соотношение	
	п	Ки/км <sup>2</sup> (37 кБк/м <sup>2</sup> )		мкР/ч Ки/км <sup>2</sup>			
		М <sub>1</sub>	±σ <sub>1</sub>			М <sub>2</sub>	±σ <sub>2</sub>
1	1	1,2	—		20	116,67*	—
2	6	2,9	0,6		30	10,34	0,20
3	6	4,6	0,6		40	8,70	0,13
4	6	6,2	0,6		50	8,10	0,10
5	9	7,9	0,8		60	7,59	0,10
6	8	9,5	0,5		70	7,37	0,05
7	6	11,0	0,4		80	7,27	0,03
8	6	12,7	0,4		90	7,09	0,03
9	6	14,3	0,4		100	6,99	0,02
10	6	16,0	0,5		110	6,88	0,03
11	6	17,6	0,5		120	6,82	0,03
12	6	19,0	0,5		130	6,84	0,03
13	6	30,0	0,5		200	6,66	0,02
14	6	33,0	0,5		217	6,58*	0,02

\* Крайние варианты исключены как недостоверные.

по радиоактивному эталону Журавлева:

$$1 \text{ Ки/км}^2 = 37 \text{ кБк/м}^2 \div (7,55 \pm 0,44) \text{ мкР/ч} = (7,55 \pm 0,04) \cdot 10^{-8} \text{ Гй/ч.}$$

Официальные методические рекомендации по определению годовых суммарных эффективных эквивалентных доз облучения населения, разработанные для контролируемых районов, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС, основаны на использовании эмпирических коэффициентов, значение которых ежегодно меняется с учетом данных термолуминесцентной дозиметрии и гамма-спектроскопии. Подобные подходы вполне правомерны, однако хотелось бы отметить их сложность и малодоступность для практических врачей. Этих недостатков лишена математическая модель хронического облучения, которую предложил Блэр [10]. Он обосновал понятие о периоде полувосстановления  $T_{1/2}$  тканей в облученном организме. У человека он длится 28

вых эпидемиологических исследований, особенно при расчетах коллективной дозы облучения. Такие методы должны быть основаны на данных о радиационном фоне местности и опираться на достоверную математическую модель хронического облучения малыми дозами.

80% радионуклидов, загрязняющих территории, пострадавшие от аварии на ЧАЭС, представляют собой изотопы цезия-134, -137, излучение которых создает стабильно повышенный радиационный фон. Однако регламентирующие документы содержат характеристику чернобыльских зон по плотности заражения цезием в Ки/км<sup>2</sup> (кБк/м<sup>2</sup>). В доступной литературе мы не нашли методов пересчета плотности заражения цезием-137 на величину создаваемой им мощности дозы гамма-излучения.

В. Ф. Журавлев [6] приводит радиометрическую характеристику гамма-излучающего эталона, представляющего собой равновесную соль радия с углеродом и барием в платиновой оболочке толщиной 0,5 мм. Активность эталона равна 37 кБк. Мощность излучения на расстоянии 1 см составила 0,02 Кл/кг·ч (77,1 Р/ч). Нетрудно рассчитать, что на высоте 1 м вещество, рассыпанное на площади 1 м<sup>2</sup>, будет иметь мощность гамма-дозы равную  $7,7 \cdot 10^{-8}$  Гй/ч (7,7 мкР/ч). Следовательно:

$$1 \text{ Ки/км}^2 = 37 \text{ кБк/м}^2 \div 7,71 \text{ мкР/ч} = 7,71 \cdot 10^{-8} \text{ Гй/ч.}$$

Совместно с инженером по радиоэлектронике К. М. Галатом из Республиканской радиологической лаборатории МСХ РФ в 1990 г. мы приняли участие в разработке материалов Госкомгидромета по изучению влияния плотности загрязнения изотопами цезия на радиационный фон Плавского района Тульской области. В табл. 1 представлены данные о замерах мощности дозы гамма-излучения на высоте 1 м и результаты исследования содержания цезия-134, -137 в 84 образцах почвы, взятых из 14 различных радиоактивных пятен на поверхности земли. Статистический анализ результатов полевых радиогеохимических исследований практически подтверждает наши расчеты

Влияние загрязнения местности цезием-137 на облучение населения в течение года

Плотность загрязнения, КБк/м <sup>2</sup> (Ки/км <sup>2</sup> )	Мощность гамма-излучения на высоте 1 м		Эффективная доза, сГй(рад)	Доза внутреннего облучения, сЗв(бэр)	Максимальная эквивалентная доза на открытой местности, сЗв	Доза с учетом К <sub>осл.</sub> *, сЗв
	мР/ч	сГй/нед				
37 (1)	0,0077	0,001	0,016	0,005	0,02	0,01
185 (5)	0,0385	0,006	0,08	0,027	0,10	0,07
370 (10)	0,0771	0,012	0,16	0,054	0,20	0,14
555 (15)	0,1116	0,02	0,24	0,080	0,32	0,20
1110 (30)	0,2300	0,04	0,48	0,160	0,64	0,40
1480 (40)	0,3**	0,05	0,64	0,220	0,86	0,5**

\* Время пребывания в деревянных домах — 16 часов в сутки; \*\* международные регламенты на эвакуацию населения из зоны радиационного загрязнения.

суток, что соответствует скорости восстановительных реакций  $\beta$ , равной 0,125 долей в неделю (12,5%). Этим же автором также было сформулировано представление о лучевой болезни как сопряженном процессе обратимых и необратимых изменений в организме. Доля необратимых изменений  $i$  у человека оказалась равной 0,1 (10%).

Одно из уравнений Блэра описывает модель хронического облучения организма на территории, загрязненной длительно живущими радионуклидами [11]:

$$DEchr = \gamma[1-i]/\beta + \gamma \cdot i \cdot T$$

Первое слагаемое представляет собой дозу облучения, связанную с восстановительными процессами в организме, второе — характеризует необратимые изменения. Для удобства расчетов мы избрали следующие разности:  $DEchr$  — эффективная доза хронического облучения, Р (сГй);  $T$  — время облучения, нед;  $\gamma$  — мощность дозы гамма-излучения на высоте 1 м, Р/нед (сГй/нед).

Для проверки надежности уравнения мы сочли целесообразным сопоставить два международных регламента для эвакуации населения: мощность дозы гамма-излучения — 0,3 сГй/ч (0,3 мР/ч) и годовую эффективную эквивалентную дозу облучения — 0,5 сЗв (0,5 бэр), допустимую для населения в аварийном периоде.

Расчетные данные о влиянии цезия-137 на облучение населения в зависимости от зоны загрязнения представлены в табл. 2.

В решение уравнения мы внесли две поправки. Первая поправка определяет величину доли внутреннего облучения. Международная группа «Чернобыльский проект» с помощью портативного счетчика импульсов излучения человека обследовала внутреннее облучение изотопами цезия почти у 9000 человек. Оказалось, что доля внутреннего облучения равна в среднем 25%, а внешнего — 75%, что мы и использовали в представленных расчетах.

Вторая поправка характеризует экранирующую способность помещений и время пребывания сельских жителей на открытой местности. Мы исходили из регламентирующих документов, определяющих максимальное время пребывания на открытой зараженной местности не более 8 часов в сутки. Для сельских деревянных построек коэффициент ослабления ( $K_{осл.}$ ) гамма-радиации равен 3.

Расчеты показывают совпадение двух международных регламентов на эвакуацию, что убеждает нас в верности избранной математической модели облучения.

Интересно отметить, что различные исследователи, не раскрывая своих методов подсчета эффективных доз хронического облучения, дают противоречивые результаты. Так, одни авторы [9] при мощности гамма-излучения на местности до 0,3 мР/ч (3 мкГй/ч) определили, что годовая эффективная доза облучения равна 2,6 бэр, это выше нашего результата в 5 раз. Другие авторы считают, что доза облучения в таких условиях рав-



**Прогнозные оценки доз облучения за 70 лет проживания на территории, загрязненной цезием-137**

Плотность загрязнения, кБк/м <sup>2</sup> (Ки/км <sup>2</sup> )	Детерминистская модель Института биофизики МЗ РФ			Вероятностная модель группы «Чернобыльский проект» (1991)			Математическая модель Блэра (1952)		
	эффективная доза, сГй (рад)	доза внутреннего облучения, сЗв (бэр)	эквивалентная эффективная доза, сЗв (бэр)	эффективная доза, сГй (рад)	доза внутреннего облучения, сЗв (бэр)	эквивалентная эффективная доза, сЗв (бэр)	эффективная доза, сГй (рад)	доза внутреннего облучения, сЗв (бэр)	эквивалентная эффективная доза, сЗв (бэр)
370 (10)	8	6	15	6	2	8	2,2	0,8	3,0
1110 (30)	16	23	40	13	3	16	6,7	2,3	9,0

на 0,1 бэр, то есть в 5 раз меньше нашего результата.

Руководитель международной исследовательской группы «Чернобыльский проект» Ицзуо Шигемацу [7] дает прогнозную оценку доз облучения населения за 70 лет жизни на территории, загрязненной изотопами цезия. Так, проживание в средней части зоны отселения с плотностью загрязнения цезием-137 до 1110 кБк/м<sup>2</sup> (30 Ки/км<sup>2</sup>) вызовет облучение людей, по его данным, в дозе 16 сЗв (бэр), что в 2,5 раза меньше прогнозной дозы Института биофизики МЗ РФ (40 сЗв). Указанное различие И. Шигемацу объясняет использованием институтом детерминистской модели расчетов доз облучения, которая исходит из максимально неблагоприятных условий.

Наши расчеты по математической модели Блэра для тех же условий определяют дозу облучения населения за 70 лет, равную 9 сЗв (бэр), что меньше дозы, рассчитанной группой «Чернобыльский проект» лишь в 1,7 раза. Для прогноза на столь длительный период такое различие является несущественным. Результаты оценок могут быть названы вполне совпадающими.

Следует повторить, что наши расчеты эффективной эквивалентной дозы облучения за 70 лет были проведены с учетом периода полураспада цезия-137, средней мощности дозы гамма-излучения за 70 лет, доли внутреннего облучения, равной 25% по отношению к внешнему. Мы исходили из того, что две трети своего времени жители находятся в деревянных помещениях с  $K_{осл.}$ , равным 3 (см. табл. 3).

#### ВЫВОДЫ

1. При воздействии на людей доз облучения в диапазоне от 1 до 10 Гй

для диагностики и медицинской сортировки полезно использовать номограммы гематологических изменений с учетом сроков пролиферативной активности лимфоцитов, нейтрофилов и тромбоцитов.

2. Для выявления действия малых доз облучения на организм функциональные тесты (гормонотесты, ЭЭГ и др.) предпочтительнее морфометрических методов (гематологический, цитогенетический, ЭПР и др.).

3. Приведенные результаты радиогеохимических исследований образцов почвы, отобранных на тульском радиоактивном пятне, позволяют определить соотношение плотности загрязнения изотопами цезия и мощности дозы гамма-излучения, что необходимо для расчета облучения.

4. Использованная нами математическая модель Блэра по определению эффективных доз хронического гамма-облучения вполне пригодна для применения при массовых эпидемиологических исследованиях и расчетах коллективных доз облучения. Полученные на ее основе результаты коррелируют с вероятностной моделью расчета доз облучения, использованной международной исследовательской группой «Чернобыльский проект».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ажипа Я. И. Медико-биологические аспекты применения метода электронного парамагнитного резонанса.— М., 1983.
2. Бадюгин И. С. Военная токсикология, радиология и защита от оружия массового поражения.— М., 1992.
3. Голиков В. Я., Кедров К. П. Персональная ретробинодозиметрия.— М., 1992.
4. Гуськова А. К. // Военно-мед. журн.— 1992.— № 4.— С. 14—20.
5. Дедов В. И. и др. Оценка нестохастических эффектов малых доз внутреннего облучения на уровне целостного организма (методические рекомендации).— М., 1987.
6. Журавлев В. Ф. Токсикология радиоактивных веществ.— М., 1990.

7. Международный Чернобыльский проект. Оценка радиологических последствий и защитных мер//Под ред. Инузо Шингеману.— М., 1991.
8. Тимофеев-Ресовский Н. В., Савич А. В., Шальнов М. И. Введение в молекулярную радиологию.— М., 1981.
9. Чиркин А. А., Окорочков А. И., Гончарик Н. И. Диагностический справочник терапевта.— Минск, 1992.
10. Blair H. A. The effect of ionizing radiation on laife span.— N.-Y.— 1952.
11. Davidson H. O. Биологические последствия общего гамма-облучения человека.— М., 1960.

Поступила 01.04.94.

## ASSESSMENT OF BIOLOGICAL AND CALCULATION DOSIMETRY METHODS

I. S. Badyugin

### Summary

The formula is proposed for the calculation

of contamination density by gamma-active caesium isotopes by radiation background and vice versa:  $1 \text{ Ci/km}^2 = (7,55 \pm 0,44) \mu\text{R/h}$ . This equation practically corresponds to our calculations by Zhuravlev reference:  $1 \text{ Ci/km}^2 = 7,7 \mu\text{R/h}$ . The hematologic nomograms allow a physician to be quickly oriented in the diagnosis and medical assortment of acute damages of persons by uniform gamma-irradiation in the range of doses between 1 and 10 Gy. Adapted to the Chernobyl accident conditions the calculation method of the determination of small doses of chronic irradiation by the Blare mathematical model is simple and convenient. By its results it is close to the probabilistic model of chronic irradiation used by the international group «Chernobyl project».

## КЛИНИЧЕСКАЯ И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

УДК (477.4)551.51.072.004.6:616—08

### МЕДИЦИНСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

А. С. Галиев, Б. Б. Спасский, Р. И. Халитов

Управление профилактики (начальник — Р. И. Халитов) МЗ РФ, г. Москва

По уточненным данным, в России в результате аварии на Чернобыльской АЭС радионуклидами загрязнена обширная территория площадью более 57 тыс. км<sup>2</sup>. На этой территории проживают 2 млн. 600 тыс. человек, в том числе 783 тыс. детей. Плотность загрязнения цезием-137, основным дозообразующим фактором, колеблется от 37 до 1480 кБк/м<sup>2</sup>, или от 1 до 40 Ки на 1 км<sup>2</sup>. В зоне отчуждения, где проживание людей запрещено, показатели загрязнения цезием-137 выше 1480 кБк/м<sup>2</sup>. Загрязнение почвенного покрова стронцием-90 и плутонием-239 преимущественно ограничено пределами 30-й километровой зоны.

Квалифицированное медицинское обследование и лечение пострадавших с острыми лучевыми поражениями были начаты на базе Припятской медико-санитарной части № 126 и продолжены в клиниках Москвы, Киева и Ленинграда, перепрофилированных для приема и оказания соответствующей медицинской помощи. С предварительным диагнозом «острая лучевая болезнь» в указанные клиники в

первые дни после аварии поступили 499 человек; у 139 из них дозы облучения колебались от 100 до 1600 бэр: погибли 30 человек (доза облучения — более 400 бэр), признаны инвалидами — 59.

С момента аварии население подверглось внешнему и внутреннему облучению. Ведущим фактором внутреннего облучения населения с 26 апреля по 13 июня 1986 г. был йод-131, а в последующем — цезий-137. В районах с загрязненностью почвы цезием-137 до 555 кБк/м<sup>2</sup> (15 Ки/км<sup>2</sup>) эффективные эквивалентные дозы облучения были меньше 0,5 бэр в год (сЗв), а в большинстве населенных пунктов — меньше 0,1 бэр (сЗв). Неблагоприятную демографическую ситуацию на этих территориях нельзя отнести только к последствиям аварии, так как она характерна для всей территории России. Структура смертности населения загрязненных территорий практически не отличается от общероссийской. Младенческая смертность, в том числе и в Брянской области, также близка к среднему показателю по России.