

чивает его поток, с другой стороны — полость ускорителя. Заданная форма этой поверхности может быть обеспечена его скоростью и геометрией соплового насадка на входе жидкого металла в рабочую полость мишени.

Геометрия свободной поверхности — волновая. Протяженность парогазовой полости в

рабочей камере мишени зависит также от противодействия на выходе из мишени, но, как показали эксперименты, она консервативна по отношению к давлению в системе газа мишенного контура.

Поступила в Редакцию 20.02.07

УДК 539.12.08

ЭФФЕКТИВНАЯ ДОЗА ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ЖИТЕЛЕЙ НАИБОЛЕЕ ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАЙОНОВ БРЯНСКОЙ И КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТЕЙ

*Степаненко В.Ф., Яськова Е.К., Орлов М.Ю., Петин Д.В., Крюкова И.Г., Кадиев А.Ю.,
Калашиникова Е.Г., Цыб А.Ф. (Мед. радиологический научный центр РАМН)*

Систематические измерения содержания ^{137}Cs и ^{134}Cs в организме жителей Брянской обл. с использованием мониторов и спектрометров излучения человека проводили начиная с мая 1986 г. Массовые обследования проводили в районах с наибольшим загрязнением (Новозыбковский, Злынковский, Красногорский, Гордеевский) [1] специалисты брянских санэпидстанций и органов здравоохранения при участии ведущих НИИ страны, а также в 1991 г. в рамках российско-германской измерительной программы. Такие же измерения в трех наиболее загрязненных районах Калужской обл. (Жиздринский, Ульяновский, Хвостовичский) проводили с августа 1986 г. сотрудники МРНЦ РАМН с участием специалистов местных органов здравоохранения, а также в рамках российско-германской измерительной программы [1, 2].

Целью работ являлось получение первичных данных для оценки индивидуальной и средней эффективной дозы внутреннего облучения всего тела для дозиметрической поддержки принятия решений о медико-профилактических, социальных и реабилитационных мерах, направленных на уменьшение последствий аварии на Чернобыльской АЭС [2]. В настоящей статье

С начала 1990-х годов в обеих областях работала передвижная спектрометрическая лаборатория МРНЦ РАМН с четырьмя спектрометрами типа кресло с защитой с NaI(Tl)-детекторами размером 76,2×76,2 мм со свинцовыми коллиматорами с широкой конусной апертурой (система «Джемми-Мастер-1500» с многоканальным анализатором фирмы CANBERRA,

представлены основные результаты оценок эффективной дозы внутреннего облучения всего тела, основанные на ограниченной выборке достоверных данных.

Методы и материалы исследования. В Брянской обл. первоначально использовали полевой спектрометр Robotron RFT-20046 (Германия) с NaI(Tl)-детекторами размером 40×40 мм или 63×63 мм. С 1990 г. применяли портативный спектрометр с теневой защитой ИБФ МЗ СССР. В 1988—1991 гг. измерения проводили в меньшем объеме по сравнению с 1986—1987 гг. В начале 1990-х и в последующие годы в Брянской обл. применяли установленные в некоторых больницах спектрометры всего тела типа «кресло со свинцовой защитой» (NaI(Tl)-детектор размером 63×63 мм в свинцовой защите). В Калужской обл. на начальном этапе работы в 1986 г. в качестве основного измерительного средства использовали радиометр СРП-68-01. В 1987—1990 гг. использовали энергоселективный прибор ГТМ-01-Ц (оба типа приборов оснащены сцинтилляционными NaI(Tl)-детекторами) [3, 4]. В последующие годы, как и в Брянской обл., стали использовать установки типа кресло со свинцовой защитой.

Франция [4]). В 1991 г. массовые измерения проводили в рамках российско-германской программы с использованием как передвижных спектрометров с NaI(Tl)-детекторами, так и неэнергоселективных передвижных мониторов (пластиковые детекторы).

В период применения приборов Robotron RFT-20046, СРП-68-01, ГТМ-01-Ц в Брянской

и Калужской областях измерения проводили в каменных или бетонных помещениях в целях уменьшения внешнего γ -излучения. Для достижения наибольшей чувствительности измерений [1] детектор размещали со стороны спины пациента или на коленях сидящего человека вплотную к области живота. Пациент сгибался над детектором.

Особое внимание уделяли калибровке полевых измерений. Первоначально использовали калибровку с помощью антропоморфных фантомов. Для проверки такие же измерения были проведены на добровольцах с массой тела от 48 до 86 кг, одноразово принявших перорально метрологически аттестованную «чернобыльскую смесь» ^{137}Cs и ^{134}Cs (шесть добровольцев в Брянской и один в Калужской обл.) [1, 4]. Для части обследованных проводили параллельные измерения на стационарном спектрометре МРНЦ РАМН типа мультidetекторная кровать с защитой в виде стальной комнаты, изготовленной из металла доатомной эпохи [4].

Все использованные на этом этапе методики были одобрены специальной комиссией МЗ СССР [1]. Лаборатория медико-экологической дозиметрии и радиационной безопасности населения МРНЦ РАМН, ответственная за проведение калибровки, сертифицировала все измерительные методики и была аккредитована как измерительная лаборатория при Госстандарте России [1]. Спектрометры излучения человека в Калужской и Брянской обл. в начале 1990-х годов прошли калибровку с помощью сертифицированного возрастозависимого тканеэквивалентного антропоморфного фантома, имитирующего внутреннее облучение стандартными распределенными по объему фантома источниками ^{137}Cs . Калибровку стационарных и пере-

движных спектрометров (лаборатория «Джемини-Мастер-1500», Франция) проводили также на месте измерений для учета влияния дополнительного радиационного фона.

В статье приведены результаты анализа только тех измерений, которые признаны достоверными в плане документирования и в отношении калибровочных процедур.

В таблице приведены данные о числе измерений в наиболее загрязненных районах Брянской обл. в 1986—1994 гг. Из них 34 906 признаны на настоящий момент достоверными. Они выполнены в населенных пунктах с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs , равной или более 62 кБк/м² (на 1986 г.). Максимальная плотность составляла около 4300 кБк/м² — в д. Заборье Красногорского района [5]. В среднем в этих районах Брянской обл. обследованиями было охвачено 139 населенных пунктов, включая районные центры, с общей численностью населения около 99 тыс. человек.

В Калужской обл. всего в 1986—1994 гг. в трех наиболее загрязненных районах было проведено 64 131 признанное на настоящий момент достоверным индивидуальное измерение в различных населенных пунктах с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs , равной или более 37 кБк/м² в расчете на 1986 г. Максимальная плотность загрязнения почвы ^{137}Cs составляла 453 кБк/м² [5]. В среднем ежегодно обследовали 122 населенных пункта, включая районные центры, в трех районах Калужской обл. с общей численностью населения около 44 тыс. человек.

В последующие годы по мере уменьшения активности загрязнения и в связи с снижением финансирования программа мониторинга была ограничена выборочными измерениями в наиболее загрязненных районах.

Число достоверных измерений в наиболее загрязненных районах Брянской обл. после аварии на Чернобыльской АЭС

Район	Число измерений по годам							
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1993	1994
Гордеевский	476	431	122	86	94	9177	3620	1525
Новozyбковский/ Злынковский*	7444	5325	906	713	635	418	321	287
Красногорский	1944	176	78	87	56	386	278	321
Всего	9864	5932	1106	886	785	9981	4219	2133

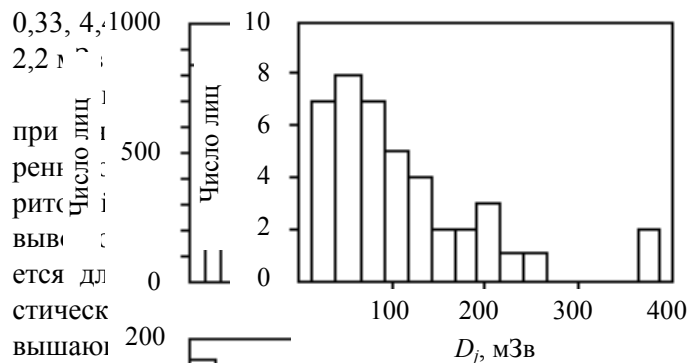
*Эти районы на момент аварии были административно объединены.

В отдельные периоды массовых измерений проводили индивидуальные опросы обследуемых [6] о суточном потреблении молока и его источнике (корова в личном хозяйстве, рынок, торговая сеть), дате прекращения или ограничения потребления молока местного производства, дате начала пастбищного выпаса коров, дате и длительности нахождения на загрязненных территориях, а также дате отъезда обследуемых лиц с загрязненных территорий. Все результаты вносили в компьютерную базу данных. Эту информацию использовали для расчета индивидуальной эффективной дозы внутреннего облучения всего тела и анализа закономерностей дозоформирования в зависимости от профессиональных и поведенческих характеристик обследуемых, количества и состава потребляемых ими продуктов питания [6—9].

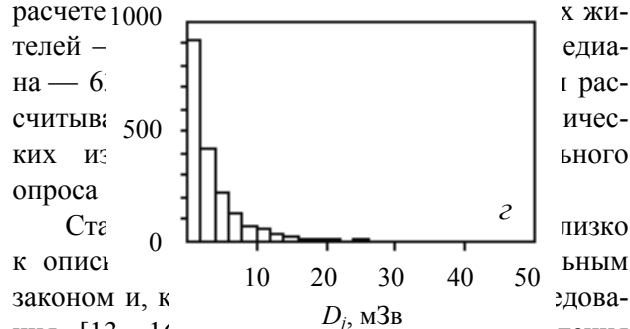
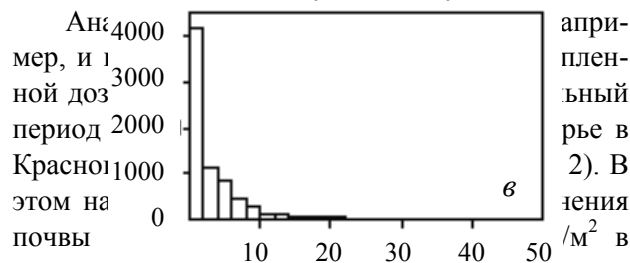
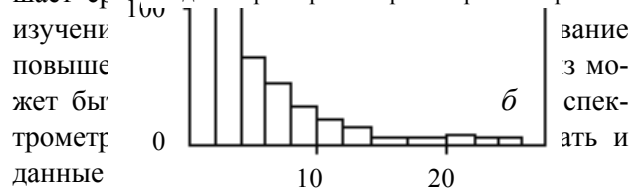
Индивидуальную годовую и среднюю дозу внутреннего облучения всего тела рассчитывали с помощью модели, учитывающей результаты измерения активности ^{137}Cs и ^{134}Cs , массу тела и возраст пациента, дату измерения, характеристики пребывания на загрязненной территории, особенности потребления продуктов питания, динамику изменения активности в почве, продуктах питания и организме человека [7—9].

Результаты. Ежегодно результаты индивидуального дозиметрического обследования передавали в персонифицированном виде в областные отделы здравоохранения для занесения на областные уровни медико-дозиметрического регистра населения [2, 10]. В 1994—1995 гг. информация была предоставлена в обобщенном (неперсонифицированном) виде специалистам ВОЗ в рамках международной программы «Айфека» (IPNECA) [1, 6]. В 2002 г. полученные материалы были обобщены для определения стратегии и тактики дальнейших действий по преодолению долговременных последствий аварии на Чернобыльской АЭС [11]. Для информирования административных органов результаты анализа ситуации в Калужской обл. были опубликованы на областном, всероссийском и международном уровнях [3, 4, 12—14], а также представлены в виде отчетов для МЗ СССР и МЗ РФ.

Число обследованных лиц в Хвостовичском (Калужская обл.), Гордеевском, Новозыбковском, Злынковском, Красногорском (Брянская обл.) районах составило 2807, 476, 7444, 1944 чел. соответственно. Средняя доза равна



Р и с. 2. Статистическое распределение эффективной дозы внутреннего облучения за 1986—2000 гг. всего тела жителей д. Заборье Красногорского района Брянской области



Р и с. 1. Статистическое распределение индивидуальной годовой дозы внутреннего облучения в 1986 г. детей и подростков Хвостовичского района Калужской обл. (а), лиц всех возрастов Гордеевского (б), Новозыбковского и Злынковского (в), Красногорского районов Брянской обл. (г) загрязнения в результате аварии на Чернобыльской АЭС.

Таким образом, при относительно низкой средней или медианной дозе у населения даже в пределах одного населенного пункта имеются группы лиц с значительно более высокой индивидуальной дозой. Именно они образуют группы повышенного радиационного риска, и именно на них необходимо прежде всего обращать внимание при проведении лечебно-профилактических, защитных и реабилитационных мероприятий. Этот результат следует учитывать не только при анализе последствий аварии на

Чернобыльской АЭС, но и при подготовке планов мероприятий по предотвращению последствий возможных крупномасштабных радиационных инцидентов в будущем.

Формирование критических групп возможно только в том случае, если спектрометрические измерения сопровождаются индивидуальными дозиметрическими опросами. Выявление критических групп является важным по трем причинам: на эти группы должно быть обращено внимание при оценке состояния здоровья и роли радиационного фактора, эти группы должны быть объектом адресных защитных мероприятий по снижению облучения, выявление закономерностей формирования повышенной дозы облучения у этих групп населения позволит выработать критерии первоочередного реагирования в случаях возможных в будущем радиационных аварий.

Одной из важных характеристик облучения населения является доза, накопленная за длительный период нахождения на загрязненной территории. Динамика накопления дозы внутреннего облучения, а также ее значение определяются экологическими и социально-экономическими факторами, такими, как радиоактивное загрязнение местности, дата и длительность радиоактивных выпадений, тип радиоактивных выпадений (с дождями или в сухом виде), тип населенного пункта, тип почвы, климатические условия, урожайность и темпы роста травяной растительности и сельскохозяйственных злаков/плодов, принятие общих и индивидуальных защитных мер (внесение в почву специальных препаратов, ограничивающих поступление радиоактивных веществ в травяную растительность и сельскохозяйственные злаки/плоды, прекращение или ограничение потребления загрязненных продуктов питания), фактическое выполнение этих мер населением и административными органами, рацион питания и источники этих продуктов, индивидуальные уровни по-

требления населением загрязненных продуктов питания, дата отъезда и приезда на загрязненную территорию, длительность таких отъездов и т.д. Все эти параметры учитываются радиоэкологическими моделями, используемыми при расчете дозы внутреннего облучения [6, 7, 13].

Рис. 3 иллюстрирует изменение со временем средней годовой дозы внутреннего облучения всего тела после аварии и динамику накопления эффективной дозы внутреннего облучения в Гордеевском районе Брянской обл. в зависимости от времени после аварии.

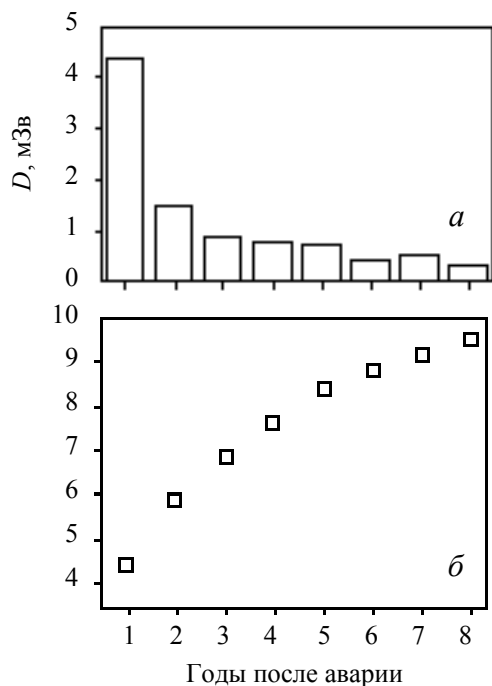
Как следует из рис. 3, к восьмому году после аварии накопление дозы внутреннего облучения существенно замедляется. Такая же тенденция установлена и для остальных обследованных загрязненных районов Брянской и Калужской обл. Можно заключить, что накопление большей части дозы внутреннего облучения завершается за 8—10-летний период, причем первый год после аварии (1986—1987 гг.) является определяющим для общей накопленной дозы — доза внутреннего облучения за первый год может составлять от 40—50 до 75—80% накопленной за 8—10-летний период после аварии в зависимости от указанных экологических и социально-экономических параметров.

Средняя накопленная за 1986—1994 гг. эффективная доза внутреннего облучения жителей Жиздринского, Ульяновского и Хвастовичского районов Калужской обл. составила 1,5, 1,5 и 1,8 мЗв соответственно. Для жителей Гордеевского, Новозыбковского/Злынковского и Красногорского районов Брянской обл. она равна 9,9, 7,4 и 9,6 мЗв соответственно. При усреднении учитывали индивидуальные измерения содержания ^{137}Cs и ^{134}Cs в организме обследуемых в различных возрастных группах, а также реальную возрастную структуру и численность населения районов.

Таким образом, средняя накопленная эффективная доза внутреннего облучения всего тела за период с 1986 по 1994 г. в исследованных районах относительно невелика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Медицинские** последствия чернобыльской аварии. Научный отчет. Ред. Г.Н. Сушкевич, А.Ф. Цыб, М.Н. Репачоли, Р.Ф. Мулд. Женева, 1995. 599 с.
2. **Цыб А.Ф., Степаненко В.Ф., Питкевич В.А. и др.** Организационные, методические и информационные аспекты массового индивидуального дозиметрического обследования населения в зонах радиоактивного загрязнения вследствие аварии на ЧАЭС. — В сб.: Медицинские аспекты аварии на Чернобыльской атомной электростанции. Киев: Здоров'я, 1988, с. 193—197.
3. **Степаненко В.Ф., Цыб А.Ф., Скворцов В.Г. и др.** Уровни и структура облучения населения Калужской области в результате аварии на Чернобыльской АЭС. — В сб.: Наследие Чернобыля — 10 лет спустя. Калуга—Обнинск, 1996, с. 53—67.
4. **Степаненко В.Ф., Яськова Е.К., Матвеев Е.Г. и др.** Дозы внутреннего облучения всего тела у жителей наиболее загрязненных районов Калужской области по данным многолетнего мониторинга. — В сб.: Наследие Чернобыля. Вып. 4. 20 лет спустя. Калуга, 2006, с. 32—37.
5. **Данные** по загрязнению населенных пунктов РСФСР Cs-137 и Sr-90 (на март 1990). Обнинск, Госкомгидромет СССР, 1990. 523 с.
6. **IPHECA Program.** Dose Reconstruction. Project Protocol WHO/ENG/96.04. Geneva, 1996. 34 p.



Р и с. 3. Средняя годовая эффективная доза (а) и эффективная накопленная доза (б) внутреннего облучения всего тела жителей всех возрастных групп Гордеевского района Брянской области в зависимости от времени после аварии

7. **Реконструкция** средней накопленной в 1986—1995 гг. эффективной дозы облучения жителей населенных

пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году. Метод. указания МУ 2.6.1.579-96. М., Минздрав России, 1996. 34 с.

8. **Dose Estimation in Populations as Result of Injection of Radionuclides.** Ser. Safety № 14. Vienna: IAEA, 1999. 87 p.
9. **Степаненко В.Ф., Орлов М.Ю., Скворцов В.Г. и др.** Индивидуальная ретроспективная дозиметрия на территориях с радиоактивным загрязнением вследствие аварии на ЧАЭС: инструментальные и расчетные методы. — В сб.: Научное обеспечение программы совместной деятельности по преодолению последствий чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства на 2002—2005 годы. Минск, Госкомчернобыль при СМ Республики Беларусь, 2004, с. 21—25.
10. **Цыб А.Ф., Деденков А.Н., Иванов В.К. и др.** Разработка всесоюзного регистра лиц, подвергшихся радиационному воздействию в результате аварии на Чернобыльской АЭС. — Мед. радиология, 1989, № 11, с. 3—8.
11. **Степаненко В.Ф.** Текущие и потенциальные медицинские и радиоэкологические последствия чернобыльской аварии. Справка для экспертов миссии ООН. Нью-Йорк: ООН, 2002. 68 с.
12. **Ильин Л.А., Балонов М.И., Булдаков Л.А. и др.** Экологические особенности и медико-биологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС. — Мед. радиология, 1989, № 11, с. 58—81.
13. **Степаненко В.Ф., Орлов М.Ю., Петин Д.В. и др.** Ретроспективная индивидуальная дозиметрия в населенном пункте с высоким радиоактивным загрязнением. — Атомная энергия, 2003, т. 95, вып. 1, с. 60—67.
14. **Stepanenko V.F., Skvortsov V.G., Tsyb A.F. e.a.** Thyroid and whole-body dose reconstruction in Russia following the Chernobyl accident: review of progress and results. — Rad. Prot. Dos., 1998, v. 77, № 1/2, p. 101—106.
15. **Stepanenko V.F., Voillequé P., Gavrilin Yu.I. e.a.** Estimating individual thyroid doses for a case-control study of childhood thyroid cancer in Bryansk Oblast, Russia. — Ibid., 2004, v. 108, № 2, p. 143—160.
16. **Проведение** индивидуальных дозиметрических исследований и оценка индивидуальных доз облучения для случаев рака молочной железы на территориях Брянской области, загрязненных радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС. Итоговый отчет. Обнинск, МРНЦ РАМН, 2004. 51 с.

Поступила в Редакцию 30.03.07

Рефераты статей

Асмолов В.Г., Зродников А.В., Солонин М.И. **Инновационное развитие ядерной энергетики**

УДК
621.039.52
6