

Метод оценки средних годовых эффективных доз внутреннего облучения населения Беларуси

В отдаленном периоде после крупной радиационной аварии – такой, как авария на Чернобыльской АЭС, – одной из актуальных проблем, определяющих адекватность решений по обеспечению радиационной и социальной защиты, является корректная оценка доз облучения населения, проживающего на загрязненной радионуклидами территории.



Наталья Власова,
завлабораторией радиационной защиты
научного отдела РНПЦ радиационной
медицины и экологии человека,
кандидат биологических наук, доцент



Леонид Чунихин,
доцент кафедры общей гигиены, экологии
и радиационной медицины Гомельского
государственного медицинского университета,
кандидат биологических наук



Юлия Висенберг,
ученый секретарь РНПЦ радиационной
медицины и экологии человека,
кандидат биологических наук



Денис Дроздов,
доцент кафедры физиологии человека и
животных Гомельского государственного
университета им. Ф. Скорины,
кандидат биологических наук

Традиционно для этого используют два различных типа моделей: *детерминистские* и *феноменологические*.

Первые основаны на определении коэффициентов перехода по звеньям трофической цепи «почва → растение → животное → человек» и включают экологические модели разного вида и сложности, типа ECOSYS-87 [1], а также параметры модели, скорректированные по данным определения содержания радионуклидов цезия в организме человека на спектрометрах излучения человека (СИЧ). В отличие от моделей, где оценивают дозу для конкретного населенного пункта (НП), в этом случае точнее прогнозируют средние значения для экологически различных регионов. Параметры подбирают с учетом особенностей местности.

Второй тип моделей – феноменологические, основанные на экспериментально полученных данных, характеризующих радиационную обстановку. Этот подход использовался в основе методов оценки средних годовых эффективных доз (СГЭД) внутреннего облучения для зонирования территорий в соответствии с Законами Республики Беларусь [2, 3] начиная с 1991 г. [4].

Суточное поступление радионуклидов с продуктами питания представлено двумя компонентами: продуктами животного происхождения и остальными составляющими рациона и питьевой водой, эквивалентными ежесуточному потреблению 1 л молока и 1,5 кг картофеля соответственно.

Методики определения дозы облучения совершенствовались в связи с необходимостью коррекции численных значений и параметров моделей. Она обусловлена постоянными процессами физического распада и миграции радионуклидов в окружающей среде, которые приводят к динамическим изме-

нениям их содержания и распределения в почве, воздухе, воде, сельскохозяйственной продукции и, как следствие, в организме человека.

В связи с тем, что было обнаружено значительное влияние на дозу внутреннего облучения пищевых продуктов леса (грибов, ягод, мяса диких животных), в «молочный» компонент дозы ввели коэффициент, учитывающий их потребление [4].

Оценка доз внутреннего облучения на основе СИЧ-измерений в основном использовалась для верификации модели, что связано с недостаточным количеством спектрометров в России и Украине.

В результате проведенного анализа методов расчета дозы можно отметить некоторые недостатки.

В детерминистских моделях:

✓ Разнообразие типов почв обуславливает варьирование коэффициентов перехода радионуклидов из почвы в сельскохозяйственные растения в диапазоне 2 порядков величины.

✓ В отличие от моделей, где оценивают дозу для конкретного НП, в модели И.А. Лихтарева точнее прогнозируют средние значения для экологически различных регионов. Она приемлема для оценок коллективных доз на больших территориях, а не для отдельного населенного пункта.

В феноменологических моделях:

✓ Измерения активности молока и картофеля проводят одномоментно, хотя есть различия в загрязнении молока в пастбищный и стойловый период.

✓ Полученные эмпирически параметры основных дозообразующих факторов имеют большой разброс, поскольку усредняют широкий спектр условий, встречающихся в реальной жизни.

✓ Модели не в состоянии гибко и адекватно реагировать на изменения рациона человека, в частности – на увеличение доли потребления пищевых продуктов леса.

✓ Не учитываются ограничения потребления продуктов питания местного производства и производства.

✓ Результаты в несколько раз превышают фактические значения доз внутреннего облучения, рассчитанных по СИЧ. В отдельных случаях они занижены в связи с учетом потребления продуктов леса.

Недостатки моделей увеличивают уровень консерватизма оценки средней годовой эффективной дозы внутреннего облучения. В связи с этим актуальна разработка нового, более совершенного метода оценки с использованием данных СИЧ-измерений как наиболее точных и надежных, так как они обусловлены фактически поступившей в организм дозы ^{137}Cs с реальным рационом питания.

В конце 1980-х гг. в Беларуси была введена система дозового мониторинга жителей загрязненных радионуклидами территорий. В настоящее время функционируют 33 СИЧ-установки, изменения которых используются для исследования закономерностей формирования дозы внутреннего

облучения и разработки статистических моделей.

Кроме того, в дополнение к прямым факторам в модель следует включить так называемые «косвенные», влияющие на дозообразование. К их числу, например, относят:

■ *Социальный фактор*, характеризующий численность населенного пункта.

Общеизвестно, что уровень жизни в разных населенных пунктах не одинаков. Очевидно, что чем меньше НП, чем дальше он расположен от локального центра, тем относительно хуже социальные и экономические условия для проживания и тем больше степень натурализации в личном подсобном хозяйстве. Отличается и демографический состав населения: в малых НП меньше детей, больше людей пожилого возраста. В силу этих причин потребление загрязненных продуктов, а следовательно, и доза в малых НП должна быть выше, чем в крупных.

■ *Природный фактор* – наличие и доступность для сельских жителей пищевых продуктов леса.

Многочисленными исследованиями, в том числе и нашими, установлена исключительно важная роль данного фактора в дозообразовании [5]. И хотя это так, влияние леса проявляется только при контакте человека с ним.

■ *Экологический фактор* – преобладающий тип почвы селхозугодий. Последний определяет коэффициент перехода в звене «почва – молоко».

Цель исследования – разработать, научно обосновать и внедрить в практику обеспечения социальной защиты метод оценки СГЭД облучения населения в отдаленном периоде после чернобыльской аварии с учетом прямых и косвенных факторов дозообразования.

В качестве материалов использовалась База данных СИЧ-измерений жителей Республики Беларусь за период 1987–2008 гг., сформированная в лаборатории радиационной защиты РНПЦ РМ и ЭЧ и насчитывающая более 2 млн записей. Применялись такие методы исследования, как экспериментальные (СИЧ), прикладной статистики (классификация объектов по совокупности информативных фактор-признаков), корреляционный и регрессионный анализ.

Разработан метод оценки средних годовых эффективных доз внутреннего облучения жителей НП, находящихся на радиоактивно загрязненной территории. Результаты СИЧ-измерений использовались в качестве основы для разработки модели. Оценка доз облучения по СИЧ – более точная и надежная, так как она обусловлена дозой фактически поступившего в организм ^{137}Cs с реальным рационом питания. Значения коэффициента перехода цезия в основные виды сельхозпродукции (молоко, свинина и говядина, овощи) и пищевые продукты леса, установленные по одному и тому же продукту для различных типов почв Гомельской области, различаются почти на 2 порядка величины.

Для проведения обобщенных оценок все многообразие почвенных различий объединили в

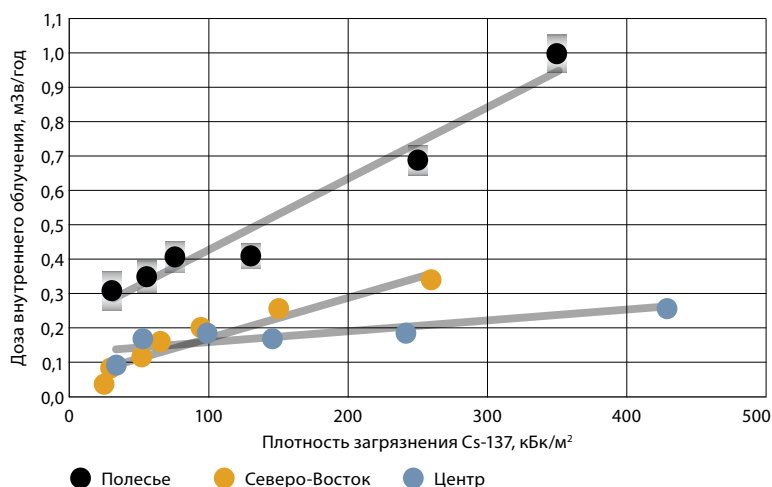


Рис. 1. Зависимость дозы внутреннего облучения от плотности загрязнения территории в трех регионах

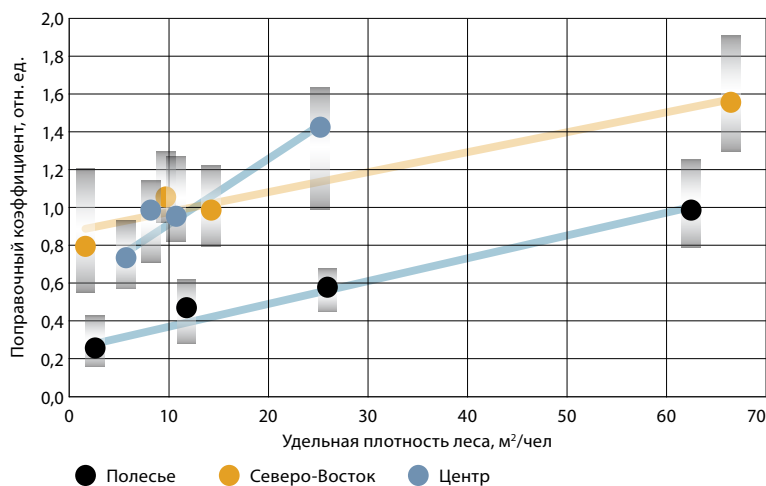


Рис. 2. Зависимость поправочного коэффициента $K_{\text{попр}}$ от удельной площади леса

группы почв, ощутимо отличающихся по значениям коэффициентов перехода в основные сельскохозяйственные продукты.

Наличие вблизи НП лесных массивов – косвенный, но не менее значимый фактор формирования дозы внутреннего облучения. Ландшафтно-географические особенности территории НП, а именно наличие продуктивного леса, естественных или искусственных водоемов, ягодных болот, образуют соответствующий жизненный уклад и специфические привычки сельских жителей. Социальное поведение в небольшом населенном пункте, расположенном вблизи лесного массива, существенно отличается от поведения горожанина и жителя безлесных относительно крупных сельских НП. В последние годы практически полностью восстановились доаварийное социальное поведение и пищевые привычки, которые были нарушены запретными мерами и ограничениями в первые годы после аварии. Это привело к смещению

центра тяжести дозоформирования от продуктов, произведенных в личных подсобных хозяйствах, к пищевым продуктам леса.

Численность жителей также является значимым косвенным фактором формирования дозы внутреннего облучения. Для малых и средних НП, как правило, характерны слабо развитые транспортная сеть и инфраструктура, жители ведут хозяйство, близкое к натуральному. Вышеописанные факторы (коэффициент перехода радионуклидов ^{137}Cs в цепи «почва – молоко», численность жителей в НП, а также наличие леса, приходящееся на одного жителя) были взяты в качестве признаков для классификации территории Беларуси. В результате выделены три региона:

■ **Полесский регион:** Ельский, Лельчицкий, Наровлянский районы;

■ **Центральный регион:** Брагинский, Житковичский, Калинковичский, Мозырьский, Речицкий, Рогачевский, Петриковский, Светлогорский, Хойникский районы;

■ **Северо-Восточный регион:** Буда-Косиловский, Ветковский, Гомельский, Добрушский, Жлобинский, Кормянский, Лоевский, Чечерский районы.

Для сохранения преемственности и консерватизма в оценке доз облучения для обеспечения радиационной безопасности и социальной защиты населения, проживающего на радиоактивно загрязненных территориях, анализ проводился для наиболее облучаемой группы жителей НП, то есть критической. В публикации Международной комиссии по радиологической защите №103 отдаленный период после аварии относится к понятию «текущее облучение» [6]. В этих условиях с применением требований публикации МКРЗ №101 вводится понятие репрезентативного человека как представительного члена наиболее облучаемой критической группы жителей населенных пунктов [7]. Она составляет в среднем 10% наиболее облучаемых лиц среди жителей каждого НП.

Для каждого региона была построена линейная регрессия средней годовой дозы внутреннего облучения критической группы жителей НП на плотность загрязнения территории. Для этого весь диапазон значений плотности загрязнения в каждой местности разбили на 6 интервалов. Полученные линейные зависимости для трех регионов представлены на рис. 1, а параметры уравнения – в табл. 1. Коэффициенты корреляции достаточно высоки, что говорит об адекватности модели.

Чтобы оценить качество разработанной модели, была сформирована контрольная выборка НП из разных регионов, сознательно не включенных в расчеты для ее разработки. Проведено сравнение доз внутреннего облучения, рассчитанных по модели, с дозами, оцененными по результатам СИЧ-измерений у жителей НП контрольной выборки. Результаты сравнения показали хорошую сопоставимость регрессионных оценок и СИЧ-измерений для НП всех регионов, расположенных на территориях с раз-

личной плотностью загрязнения. Ошибка прогноза по модели составила в среднем 45%, что свидетельствует о высоком ее качестве. Эти оценки были сделаны для усредненных по региону значений численности жителей и площади леса в ареале НП. Для тех из них, которые отличаются от среднерегиональных, также учли влияние косвенных факторов. С этой целью для улучшения качества модели были введены поправочные коэффициенты. Для учета влияния косвенных факторов на СГЭД внутреннего облучения была проведена классификация НП каждого региона по таким косвенным факторам, как численность жителей в НП и площадь леса в радиусе 3 км от НП.

В каждом регионе выбрали по 4 группы НП с близкими значениями величины удельной площади леса. Этим параметром и средним значением численности населения характеризовалась каждая группа. Для каждого региона была построена линейная регрессия относительных значений дозы (рис. 2).

В табл. 2 представлены коэффициенты корреляции и параметры уравнений регрессии, которые позволяют вносить поправки в дозы внутреннего облучения жителей тех НП, для которых значения косвенных признаков отличается от среднерегиональных.

Учет поправочного коэффициента в модели оценки СГЭД внутреннего облучения существенно улучшает модельные оценки. Результаты расчета значений доз внутреннего облучения жителей НП с применением поправочного коэффициента косвенных факторов проиллюстрированы в табл. 3.

Разработанный метод оценки СГЭД экономически эффективен, поскольку значительно снизил затраты на аналогичные работы. По традиционной методике необходимо было провести сбор и спектрометрический анализ 15 проб молока и 5 проб картофеля в каждом из 2613 НП, подлежащих зонированию. На это понадобилось бы 637,572 млн руб. в ценах 2009 г., причем без учета оплаты труда по организации и сбору проб в НП, доставки проб с места отбора. В то же время для разработки метода оценки СГЭД было достаточно данных СИЧ-измерений, имеющихся в базе данных.

Метод явился основой для создания «Каталога СГЭД облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь». Данные каталога наряду с плотностью загрязнения территории НП стали основанием для принятия постановления Совета Министров Республики Беларусь от 01.02.2010 г. №132 «Об утверждении перечня населенных пунктов и объектов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения». ■

Статья поступила в редакцию 20.05.2013

Регион	Коэффициент корреляции	Уровень значимости коэффициента корреляции	Параметры уравнения	
			a	b
Полесский	0,98	0,0006	0,2018	0,0022
Центральный	0,91	0,0128	0,1190	0,0005
Северо-Восточный	0,98	0,0002	0,0579	0,0012

Таблица 1. Параметры уравнения регрессии и коэффициенты корреляции для трех регионов

Регион	Коэффициент корреляции	Уровень значимости коэффициента корреляции	Параметры уравнения	
			a	b
Полесский	0,99	0,005	0,034	0,48
Центральный	0,98	0,010	0,018	0,87
Северо-Восточный	0,96	0,031	0,056	0,66

Таблица 2. Параметры уравнения регрессии и коэффициенты корреляции

Район	Населенный пункт	Число жителей	Удельная плотность леса	Плотность загрязнения, Бк/м ²	Средняя доза внутр. обл., мЗв/год	
					по модели	по модели с учетом поправочного коэффициента
Наровлянский	Будки	184	0,35	269	0,80	0,54
Наровлянский	Вербовичи	231	0,15	567	1,46	0,80
Наровлянский	Головчицы	446	0,27	394	1,08	0,58
Брагинский	Бакуны	123	0,07	268	0,43	0,32
Брагинский	Брагин	3700	0,01	475	0,73	0,48

Таблица 3. Сравнение значений дозы внутреннего облучения, рассчитанных по модели и с введенным поправочным коэффициентом

Summary

The method for the assessment of the rural inhabitants internal dose lived in areas of the Republic of Belarus contaminated by the Chernobyl radionuclides had been developed. The model is based on the individual internal doses, calculated by the WBC measurements. The dose assessment model is based on the classification of contaminated territories on the regional features of the soils, which cause ¹³⁷Cs intaking with locally produced foods.

Литература

1. Muller H. Ecosys-87: A Dynamic Model for Assessing Radiological Consequences of Nuclear Accidents / H. Muller and G. Prohl // Health Physics. 64(3): 232-252; 1993.
2. О социальной защите граждан, пострадавших от катастрофы на Чернобыльской АЭС, других радиационных аварий: Закон Республики Беларусь от 06.01.2009 г.
3. О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС: Закон Республики Беларусь от 12 мая 1999 г. №258-З: с изм. и доп.: текст по состоянию на 4 июля 2006 г. №140-З. – Мн., 2006.
4. Методические указания «Оценка эффективной дозы внешнего и внутреннего облучения лиц, которые проживают на территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на ЧАЭС». – Мн., 2003.
5. Skryabin A.M. Distribution of Doses received in Rural Areas affected by the Chernobyl accident. JSP-2 task 5 / A.M. Skryabin [et al.] // NRPB-R277, National Radiological Protection Board, Chilton, UK. 1995.
6. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP. Publication 103. Editor J. Valentin, 2007.
7. Annals of the ICRP, ICRP Publication 101, Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose of Radiation Protection of the Public and The Optimization of Radiological Protection: Broadening the Process, Published by Elsevier Ltd. 2006.