

Полученное уравнение является статистически значимым, уровень аппроксимации $R^2 = 0,959$ при $p < 0,05$. Увеличение расстояния до боковой панели аппарат МРТ и уменьшения уровней воздействия постоянного магнитного поля свидетельствуют об обратной пропорциональной сильной корреляционной связи данных показателей.

Следует отметить, что полученные математические модели применимы только при оценке уровней индукции постоянного магнитного аппаратов МРТ с номинальным уровнем 1,5 мТл.

Результаты полученных математических моделей позволяют без проведения инструментальных измерений определять расстояния от корпуса аппаратов МРТ до границ зон с заданными уровнями магнитной индукции постоянного магнитного поля и оценивать объемно-пространственное распределение постоянного магнитного поля на рабочих местах в диагностических помещениях кабинетов МРТ.

Выводы

На основе результатов исследований установлены изменения уровней магнитной индукции постоянного магнитного поля в различных зонах нахождения медицинского персонала у аппаратов МРТ. При этом различные участки тела медицинского работника подвергаются воздействию магнитного поля различной интенсивности, степень которой зависит от рабочей зоны его нахождения. Установлены безопасные расстояния нахождения медицинского персонала в различных зонах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казей, Э. К. Комплексная гигиеническая оценка условий труда медицинских работников, занятых в кабинетах магнитно-резонансной томографии / Э. К. Казей // Здоровье и окружающая среда : сб. науч. тр. ; гл. ред. Г. Е. Косяченко. – Минск : НПЦГ, 2013. – Вып. 23. – С. 29–33.
2. Объемно-пространственное распределение постоянного магнитного поля в кабинетах магнитно-резонансной терапии / А. В. Кравцов [и др.] // Фунд. и прикл. асп. анал. риска здор. насел.: матер. всер. науч.-практ. инт.-конф. мол. учен. и спец. Роспотр. с междунар. участием ; под ред. проф. А. Ю. Поповой, акад. РАН Н. В. Зайцевой. – Пермь : ПНИПУ, 2020. – С. 392–394.

УДК 614.876.06:621.039.58

Д. Б. Куликович¹, Н. Г. Власова^{1,2}, Б. К. Кузнецов¹

¹Учреждение образования

«Гомельский государственный медицинский университет»,

²Государственное учреждение

*«Республиканский научно-практический центр радиационной
медицины и экологии человека»*

г. Гомель, Республика Беларусь

ОЦЕНКА ИНДИВИДУАЛИЗИРОВАННЫХ ДОЗ ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ У ЛИЦ, ПРОЖИВАЮЩИХ НА ЗАГРЯЗНЕННОЙ РАДИОНУКЛИДАМИ ТЕРРИТОРИИ

Введение

Оценка доз облучения населения является одной из наиболее актуальных и сложных проблем дозиметрии и радиобиологии, которая может быть решена на ос-

новании исследования закономерностей формирования индивидуальных доз облучения населения.

Надежная информация о дозах внешнего облучения населения может быть получена на основе данных индивидуального дозиметрического контроля (далее – ИДК), однако применение этого метода не всегда возможно из-за значительных финансовых, физических и временных затрат. С другой стороны, применение существующих методик оценки индивидуализированных доз внешнего облучения нецелесообразно, поскольку они сверхконсервативны и не соответствуют задаче индивидуализации доз облучения, так как усредняют широкий спектр дозоформирующих факторов, встречающихся в реальной жизни, что приводит к большой неопределенности оценок. Как показали исследования, доза внешнего облучения зависит не только от прямых факторов дозоформирования, но и от социально-демографических характеристик населения [1–3], поэтому для прогноза доз необходимо прибегать к методам статистического моделирования.

Метод реконструкции индивидуализированных накопленных доз облучения (инструкция по применению № 095-0914), применяемый в Республике Беларусь, более прогрессивен по отношению к предыдущим методам, при этом ошибка оценки достаточно высока и в то же время в нем не учтен косвенный фактор – профессиональная занятость; отсюда вышеизложенное определяет актуальность разработки нового методического подхода реконструкции индивидуализированных доз внешнего облучения.

Цель – выявить закономерности формирования индивидуальной дозы внешнего облучения с учетом социальных и демографических характеристик индивида и разработать новый метод оценки индивидуализированных доз внешнего облучения населения, проживающего на загрязненной радионуклидами территории в результате аварии на ЧАЭС. Сравнить новый методический подход с традиционной методикой, применяемой в республике Беларусь.

Материалы и методы исследования

В исследовании использованы данные об инструментально полученных индивидуальных дозах внешнего облучения жителей Гомельской области методом ИДК за период с 1988 по 1995 гг.

Статистический анализ данных ИДК проводили методами прикладной статистики (ANOVA, непараметрические тесты Манна – Уитни и Краскела – Уоллиса, корреляционный и регрессионный анализы). Статистическая обработка данных проводилась с использованием MS Excel и Statistica 12.0.

Результаты исследования и их обсуждение

Для выявления факторов, оказывающих влияние на формирование индивидуальной дозы внешнего облучения и разработки модели оценки индивидуализированных доз внешнего облучения, был проведен анализ ТЛД-измерений индивидуальных доз внешнего облучения жителей Гомельской области за период с 1988 по 1992 гг. Данные за период 1993–1995 гг. были использованы для формирования контрольной выборки, используемой для верификации модели.

Анализ гендерной структуры исследовательской выборки показывает, что количество обследованных мужчин и женщин приблизительно одинаковое, при этом у мужчин доза значимо выше, чем у женщин, на 7,5 % ($F = 79,84$; $p < 0,05$).

Анализ возрастной структуры показал, что у детей в возрасте до 18 лет значения доз внешнего облучения фактически не различаются ($F = 0,36$; $p = 0,55$), незначитель-

ные различия наблюдаются в группах у мужчин и женщин среднего возраста ($F = 11,44$; $p = 0,03$). У мужчин молодого и пожилого возрастов значение доз внешнего облучения значимо выше, чем у женщин ($F = 42,74$; $p < 0,05$ и $F = 32,84$; $p < 0,05$ соответственно), поэтому гендерная принадлежность и возрастной фактор оказывают влияние на формирование дозы внешнего облучения.

Методом ANOVA в исследуемой выборке имеющиеся данные о профессиях были классифицированы по шести группам (таблица 1), объединенных по типу занятости (далее – ГПЗ) ($F = 122,13$; $p < 0,05$), так как дозы между ними статистически значимо не различались [2–3]. Как показал проведенный анализ, наблюдается широкий разброс доз внешнего облучения: у лиц, трудящихся на открытом воздухе, дозы внешнего облучения в среднем на 30–40 % ($F = 378,41$; $p < 0,05$) выше, чем у остальных представленных профессий [2–3].

Таблица 1 – Группы, объединенные по типу занятости

ГПЗ	Объединенные типы занятости, (код профессии)
I*	дошкольники (1), школьники младших (2) и старших классов (3)
II*	инвалиды (11), пенсионеры (12), безработные и домохозяйки (13)
III*	студенты (5), служащие (10), военнослужащие (17), медицинские работники (18)
IV*	водители и механизаторы (6), животноводы (7), работники сельского хозяйства (8), рабочие (9)
V*	полеводы (15)
VI*	работники лесхозов (16)

* – $p < 0,05$ при апостериорном сравнении групп.

Полученный результат показывает, что информативные фактор-признаки оказывают влияние на формирование индивидуальной дозы внешнего облучения.

Для построения модели оценки индивидуализированных доз внешнего облучения применен метод прикладной статистики – линейная множественная регрессия. Обучающая выборка модели сформирована репрезентативными данными об индивидуальных дозах внешнего облучения за период с 1988 по 1992 гг.

Целевой фактор-признак модели – индивидуальная годовая доза внешнего облучения лиц, вошедших в ГПЗ. В качестве объясняющих факторов-признаков были использованы: плотность загрязнения территории по ^{137}Cs исследуемого населенного пункта (далее – НП), $\text{Ки} \cdot \text{км}^2$; гендерная принадлежность (G) индивида и его возраст (A).

Скорректированные коэффициенты детерминации (R^2_{adj}) по результатам регрессионного анализа показали высокую степень адекватности ($0,71 \div 0,74$) регрессионной модели для каждой ГПЗ ($p < 0,0001$), но для обеспечения ее адекватности за каждый календарный год был введен коэффициент, характеризующий снижение дозы внешнего облучения, который был получен по результатам статистического анализа данных Каталогов средних годовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов Беларуси за 1992, 2004, 2009, 2015 и 2020 гг. Рассчитанные значения дозы внешнего облучения на основе выявленного коэффициента имеют сильную корреляционную связь ($\tau = 0,9987$; $p = 0,0016$), при этом отклонение от данных ИДК лежит в интервале $\pm 9\%$.

Таким образом, была получена формула для расчета индивидуализированной дозы внешнего облучения (1) лиц каждой ГПЗ, учитывая дозоформирующие факторы:

$$E_i^{ext} = K_{reduce}^j \times e^{(b_i + [k_i^1 \times \ln(\sigma)] + [k_i^2 \times G] + [k_i^3 \times A])}, \quad (1)$$

где E_i^{ext} – индивидуализированная годовая доза внешнего облучения для i-й ГПЗ, мЗв/год;

K_{reduce}^j – коэффициент снижения дозы внешнего облучения j-го типа НП, относительных единиц;

σ – плотность загрязнения НП по ^{137}Cs , Ки/км²;

G – пол (0 – женщины; 1 – мужчины);

A – возраст, лет;

b – свободный член уравнения регрессии;

k_i^j – коэффициенты уравнения множественной регрессии, соответствующие каждому объясняющему фактору.

Верификации модели проводились на контрольной выборке, сформированной по данным ИДК, не вошедшим в тестовую выборку. Было установлено, что между модельными и данными ИДК нет статистически значимых различий ($U = 0$; $p = 1$), ошибка оценки модели составила в среднем ~11 %, при этом наблюдалась сильная корреляционная связь между модельными и данными ИДК ($\tau = 0,9966$; $p < 0,0001$) [4].

Для оценки преимущества разработанной модели перед действующим аналогом, применяемым в Республике Беларусь, был выполнен сравнительный анализ рассчитанных доз внешнего облучения по двум методиками с данными индивидуального дозиметрического контроля (таблица 2).

Таблица 2 – Сравнительный анализ индивидуализированных по модели и традиционной методике доз внешнего облучения с данными ИДК

ГПЗ	Пол	Возраст	Тип НП*	Год обследования	Плотность загрязнения НП		Доза внешнего облучения, мЗв·год ⁻¹				
					кБк·м ⁻²	Ки·км ⁻²	ИДК	Модель	Ошибка оценки, %	Методика 2014 г.	Ошибка оценки, %
1	М	9	С	1994	142,08	3,84	0,35	0,30	14,29	0,19	46,86
	Ж	15	АГ	1994	212,38	5,74	0,47	0,42	10,64	0,18	62,07
	М	17	АГ	1993	631,59	17,07	0,62	0,65	4,84	1,17	88,25
	Ж	13	АГ	1994	631,59	17,07	0,41	0,43	4,88	0,53	29,29
2	Ж	83	АГ	1993	202,76	5,48	0,70	0,77	10,00	0,45	35,35
	М	70	АГ	1994	202,76	5,48	0,70	0,80	14,29	0,22	68,74
	Ж	68	АГ	1993	334,11	9,03	1,30	1,51	16,15	0,75	42,64
	М	65	С	1994	334,11	9,03	1,30	1,45	11,54	0,56	56,75
3	М	59	Г	1993	205,72	5,56	0,62	0,57	8,06	0,44	28,33
	Ж	29	Г	1995	256,78	6,94	0,30	0,26	13,33	0,22	28,25
	М	31	Г	1995	639,36	17,28	0,52	0,44	15,38	0,60	15,32
	Ж	38	АГ	1994	689,31	18,63	0,50	0,56	12,00	0,76	51,77

Окончание таблицы 2

ГПЗ	Пол	Возраст	Тип НП*	Год обследования	Плотность загрязнения НП		Доза внешнего облучения, мЗв·год ⁻¹				
					кБк·м ⁻²	Ки·км ⁻²	ИДК	Модель	Ошибка оценки, %	Методика 2014 г.	Ошибка оценки, %
4	Ж	55	АГ	1995	277,50	7,5	0,46	0,51	10,87	0,28	38,85
	М	54	АГ	1993	639,36	17,28	2,22	2,09	5,86	1,73	21,89
	Ж	24	АГ	1993	639,36	17,28	1,80	1,80	0,00	1,55	13,90
	Ж	47	АГ	1994	663,78	17,94	1,84	1,97	7,07	0,73	60,29
	Ж	43	С	1995	689,31	18,63	1,31	1,41	7,63	1,45	10,92
5	М	56	С	1995	368,15	9,95	1,12	1,17	4,46	0,84	24,56
	Ж	54	АГ	1995	490,62	13,26	0,98	0,81	17,35	0,54	44,89
	М	44	АГ	1995	721,87	19,51	1,11	0,92	17,12	0,89	19,90
	Ж	54	АГ	1995	721,87	19,51	1,03	0,98	4,85	0,79	22,84
6	М	37	АГ	1994	318,20	8,6	2,35	1,89	19,57	0,39	83,32
	М	60	АГ	1994	705,22	19,06	2,73	2,27	16,85	0,87	68,18
	М	21	АГ	1994	705,22	19,06	2,02	1,94	3,96	0,87	57,00
	М	26	С	1993	721,87	19,51	2,58	2,84	10,08	2,85	10,66

* С – сельский населенный пункт, АГ – агрогородок.

Сравнительный анализ методов оценки индивидуализированных доз внешнего облучения с данными ИДК показал, что между данными, рассчитанными по разработанной модели действующей традиционной методики, и данными ИДК нет статистически значимых различий ($U = 0$; $p = 1$), но при этом наблюдается сильная корреляционная связь модельных оценок с данными ИДК ($\tau = 0,93$; $p < 0,0001$), а между данными ИДК и дозами, рассчитанными по методике 2014 г. корреляционная связь слабее ($\tau = 0,48$; $p < 0,001$). Средняя ошибка разработанной модели составила ~ 11 %, а ошибка традиционной методики ~ 40 %.

Заключение

Выявлены закономерности формирования индивидуальной дозы внешнего облучения по совокупности информативных фактор-признаков индивида, на основе которых была разработана модель оценки индивидуализированных доз внешнего облучения населения, проживающего на загрязненной радионуклидами территории в результате аварии на ЧАЭС. Разработанная статистическая модель не противоречит методическому подходу реконструкции индивидуализированных доз внешнего облучения, применяемому в Республике Беларусь, но при этом позволяет снизить ошибку оценки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Distribution of doses received in rural areas affected by the Chernobyl accident / A. M. Skryabin [et al.]. – Chilton : National Radiological Protection Board, 1995. – 58 p.
2. Куликович, Д. Б. Статистический анализ факторов, оказывающих влияние на формирование дозы внешнего облучения / Д. Б. Куликович, Н. Г. Власова // Проблемы здоровья и экологии. – 2022. – № 19 (3). – С. 99–105.
3. Куликович, Д. Б. Выявление однородных по дозе внешнего облучения групп жителей загрязненных территорий по совокупности информативных фактор-признаков / Д. Б. Куликович, Н. Г. Власова // Проблемы здоровья и экологии. – 2023. – № 20 (1). – С. 123–130.

4. Куликович, Д. Б. Статистическая модель оценки индивидуализированных доз внешнего облучения / Д. Б. Куликович, Н. Г. Власова // Ильинские чтения 2023 : сб. трудов Межд. науч.-практ. конф., Москва, 15–16 марта 2023 г. – М. : ФМБЦ им. А. И. Бурназяна, 2023. – С. 32–34.

УДК 614.876-051:623.454.862

А. А. Лабуда¹, Н. Г. Власова^{1,2}

¹Учреждение образования

«Гомельский государственный медицинский университет»,

²Государственное учреждение

*«Республиканский научно-практический центр радиационной
медицины и экологии человека»,*

г. Гомель, Республика Беларусь

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЛОБАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПО МЕДИЦИНСКОМУ ОБУЧЕНИЮ

Введение

Медицинское облучение является, безусловно, крупнейшим антропогенным источником облучения населения ионизирующим излучением. Медицинское облучение включает облучение пациентов как часть их медицинского диагноза или лечения; воздействие на практически здоровых лиц (без симптомов) в рамках программ скрининга здоровья или индивидуальной оценки состояния здоровья; облучение здоровых людей или пациентов, добровольно участвующих в медицинских, биомедицинских, диагностических или терапевтических исследовательских программах [1, 2, 3]. За исключением скрининговой маммографии для выявления рака молочной железы, эта оценка охватывает только облучение пациентов в рамках их медицинской диагностики или лечения. В этой оценке медицинского облучения рассматриваются четыре основные категории медицинской практики с использованием ионизирующего излучения: диагностическая радиология, включая стоматологическую радиологию и компьютерную томографию, интервенционная радиология (интервенционные процедуры под визуальным контролем), ядерная медицина и лучевая терапия [4, 5].

В 2014 г. было инициировано Научным комитетом ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН) глобальное исследование по медицинскому облучению, в котором было предусмотрено представление данных обо всех видах, количестве и эффективных дозах облучения медицинской радиологии и терапии. Данные были предоставлены ~ 130 странами, включая Республику Беларусь при участии одного из авторов как национального контактного лица (NCP) в НКДАР ООН.

Цель – провести анализ результатов глобального исследования по медицинскому обучению и сравнить с таковыми в Республике Беларусь.

Материалы и методы исследования

Материалом исследования стали данные Государственного дозиметрического регистра о видах, количестве и дозах облучения от медицинских радиологических процедур по форме статистической отчетности ДОЗ-3 за 2014 г., а также обобщенная информация о медицинском облучении в мире, предоставленные НКДАР ООН автору как участнику проекта.