

E. A. Сосновская, A. R. Аветисов

**ФАКТОРЫ РИСКА, ВЛИЯЮЩИЕ
НА ФОРМИРОВАНИЕ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ
У ВОЕННОСЛУЖАЩИХ И НАСЕЛЕНИЯ
ЛУНИНЕЦКОГО РАЙОНА БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ**

УО «Белорусский государственный медицинский университет»

Проанализированы данные прямых измерений активности ^{137}Cs у военнослужащих в сравнении с населением Лунинецкого района за 5 лет. Обнаружены схожие гендерные отличия в накоплении ^{137}Cs (у женщин накопление ^{137}Cs выше, чем у мужчин), отсутствие возрастных отличий в накоплении ^{137}Cs у военнослужащих, в то время как у населения в целом имеются достоверные отличия. Для военнослужащих также не обнаружено влияния плотности загрязнения территории на накопление ^{137}Cs , в то время как у населения в целом эти отличия имеются.

Ключевые слова: накопление цезия, факторы риска, военнослужащие.

E. A. Sasnouskaya, A. R. Avetisov

**RISK FACTORS AFFECTING THE FORMATION
OF INTERNAL RADIATION EXPOSURE IN MILITARY PERSONNEL
AND THE POPULATION OF LUNINETSKY DISTRICT
OF BRESTSKAIA OBLAST**

Educational University «Belarusian State Medical University»

The data of direct measurements of ^{137}Cs activity in military personnel were analyzed in comparison with the population of Luninets district over 5 years. Similar gender differences in the accumulation of ^{137}Cs were found (in women, the accumulation of ^{137}Cs is higher than in men), the absence of age differences in the accumulation of ^{137}Cs in military personnel, while in the population as a whole there are reliable differences. For military personnel, the effect of the density of contamination of the territory on the accumulation of ^{137}Cs was also not found, while in the population as a whole these differences are present.

Key words: cesium accumulation, risk factors, military personnel.

Важным направлением радиационной гигиены и эпидемиологии является исследование влияния на здоровье человека радионуклидов, которые поступают в организм с территорий, пострадавших вследствие катастрофы на ЧАЭС. В частности, основной целью таких исследований является предупреждение формирования и развития как ранних, так и поздних

тканевых реакций. У радиационных аварий выделяют три основных этапа: ранний, промежуточный и восстановительный – на каждом из которых предусмотрены свои мероприятия, направленные на защиту здоровья военнослужащих, персонала и населения в целом. Для определения защитных мер главным фактором является суммарная доза внешнего и внутреннего

облучения. На раннем этапе аварии до-за внутреннего облучения формировалась от поступления ингаляционного, парентерального, энтерального, трансплацентарного и транскутанного, но на сегодняшний день, на восстановительном этапе, основным путем поступления радионуклидов в организм является алиментарный как разновидность энтерального пути, что связано с потреблением продуктов, содержащих ^{137}Cs . Другие пути поступления либо вносят незначительный вклад в формирование дозы облучения, либо изучены недостаточно.

Особое внимание привлекает вопрос оценки доз, формируемых у лиц, отнесенных к категории военнослужащих, которые в связи со своей специализацией могут получать дозы облучения, которые будут выше, чем у населения в целом, а значит могут иметь больший риск для здоровья.

Известно, что измерение содержания в организме ^{137}Cs является «золотым стандартом» расчета и оценки доз внутреннего облучения. С этой целью активно используется на загрязненных территориях спектрометр излучения человека (СИЧ), который обладает высокой точностью получаемых данных. Благодаря многолетнему использованию СИЧ, можно отследить и оценить тенденции доз внутреннего облучения. В дальнейшем можно разработать модель оценки доз и потенциальных рисков здоровью населения, проживающего на загрязненной территории, что позволит спрогнозировать наступления неблагоприятных последствий здоровью населения и вовремя применить меры, с целью их предупреждения. Таким образом, разработка моделей оценки является весьма

важной и актуальной проблемой настоящего времени.

Ключевой проблемой на данный момент времени является корректная статистическая обработка данных. Однако благодаря совершенствованию технологий, касающихся данного вопроса, и разработки новых инструментов статистического анализа появляется все больше возможностей для оценки данных, и, в частности, оценки баз с большим массивом данных.

Цель: проанализировать статистику результатов измерений СИЧ у военнослужащих и населения Лунинецкого района Брестской области.

Материалы и методы

Использовано 58809 прямых измерений активности с помощью спектрометра излучений человека (СИЧ) по изотопу ^{137}Cs в Лунинецком районе за 2015–2019 годы. Предварительная математическая обработка результатов проводилась в MS Excel, статистическая обработка данных проводилась программой Statsoft Statistica 12.

Результаты и обсуждение

Анализ результатов измерений СИЧ, выполненный при помощи описательной статистики, показал, что данные распределены весьма нестандартным образом для исследования с таким большим массивом данных (табл. 1). Среднее значение годовой эффективной дозы внутреннего облучения (ГЭД) существенно отличается от среднего геометрического, медианы и моды, что указывает на выраженную не-нормальность распределения измерений активностей и соответствующих им доз внутреннего облучения.

Таблица 1. Описательная статистика ГЭД

Показатель	N	Среднее арифметическое	Среднее геометрическое	Медиана	Мода
Все население	58809	0,0118	0,00876	0,00704	0,00638
Военнослужащие	51	0,0077	0,007	0,0063	0,00606

В табл. 1 можно отметить, что среднее арифметическое, среднее геометрическое, медиана и мода существенно отличаются друг от друга, но для военнослужащих эти различия менее выражены. Данные литературных источников [3; 4], посвященных центральной предельной теореме статистики, показывают, что выборки схожих данных в генеральных совокупностях стремятся к среднему значению вне зависимости от типа распределения данных. Из этого следует два логических объяснения различий в мерах центральной тенденции: либо характер распределения данных аналогичен таковому для всех измерений СИЧ в Республике Беларусь, либо имеются специфические особенности распределения данных измерений в Лунинецком районе. По нашему мнению, второе объяснение менее вероятно в силу схожих

условий проживания в соседних районах. Более углубленный статистический анализ (табл. 2) также указывает на то, что распределение данных весьма выражено отличается от нормального.

На следующем этапе исследования нами было принято решение о выборе правильной статистической модели, т.к. в случае неверной интерпретации параметричности данных анализ, оценка и полученные выводы могут оказаться нереlevantными [5]. По этой причине на каждом этапе анализа результатов измерений СИЧ мы провели необходимые тесты. Отсутствие нормальности распределения данных было подтверждено общим графическим представлением, а также статистическими тестами одновыборочного критерия Колмогорова-Смирнова и Лиллифорса (рис. 1).

Таблица 2. Меры изменчивости данных ГЭД

Показатель	Min	Max	Lower quartile	Upper quartile	Std. dev.	Skewness	Kurtosis
Все население	0,0038	8,057	0,0064	0,00833	0,0395	149,05	29566
Военнослужащие	0,055	0,04	0,006	0,007	0,0055	4,9	26,37

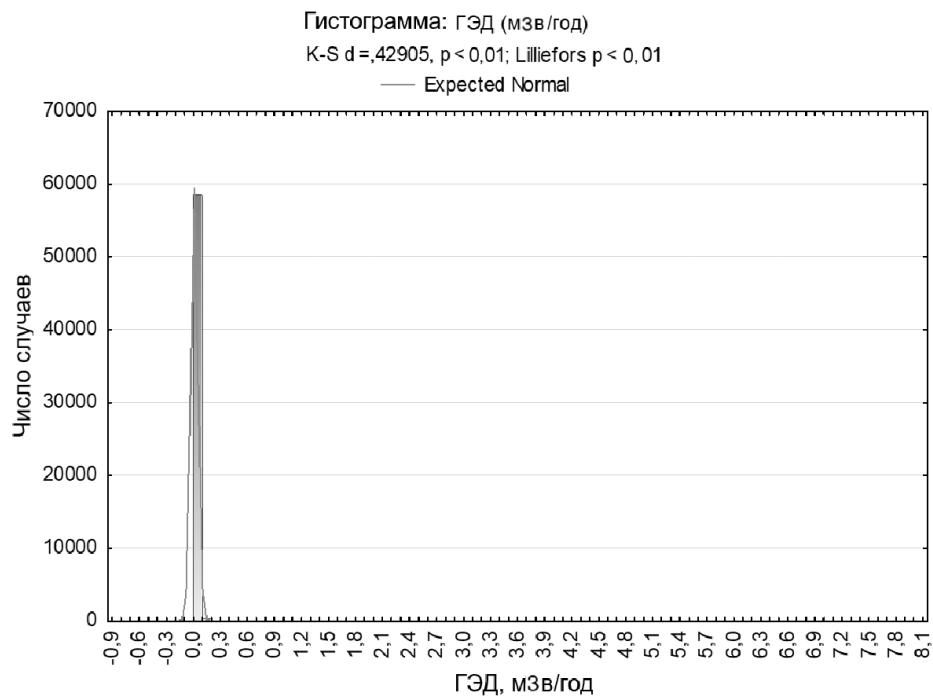


Рис. 1. Распределение измерений СИЧ с тестами нормальности

Из литературных источников известно, что результаты анализа данных распределения ГЭД могут представлять собой логнормальное или сумму (смесь) логнормальных распределений [1; 2]. Для проверки данной гипотезы нами было проведено логарифмирование значений ГЭД, выраженных в мкЗв/год с последующей оценкой такого распределения.

Результат логарифмирования данных выявил выраженную неравномерность распределения как среди военнослужащих (рис. 3), так и у населения в целом (рис. 2), однако у военнослужащих данные оказа-

лись более компактными. При этом и логарифм дозы, и ГЭД внутреннего облучения были достоверно ниже, чем у населения в целом ($p < 0,05$). На данном этапе анализа можно сделать следующие предварительные выводы:

1. Ни одно из представленных распределений не является ни нормальным, ни истинно логнормальным.

2. Необходимо искать факторы, влияющие на такое распределение данных.

На следующем этапе нами был осуществлен статистический анализ наличия связи между плотностью загрязнения территории

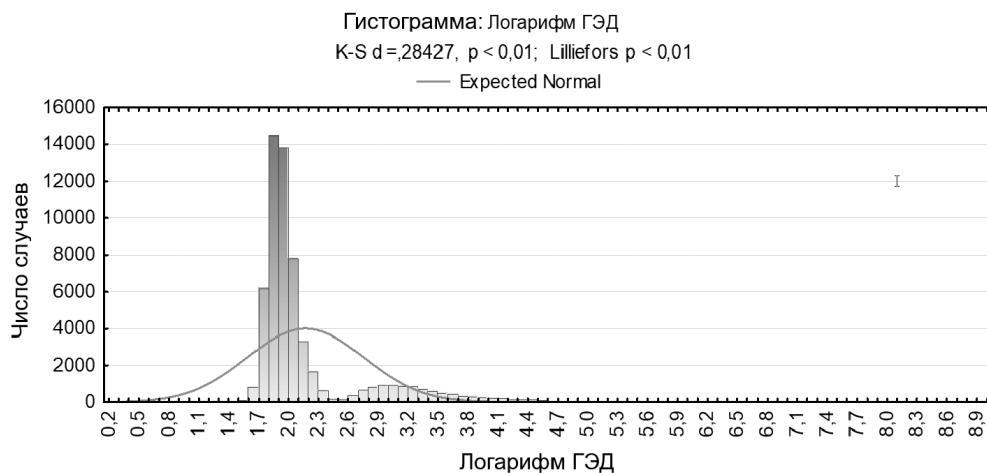


Рис. 2. Гистограмма распределения логарифма ГЭД у населения

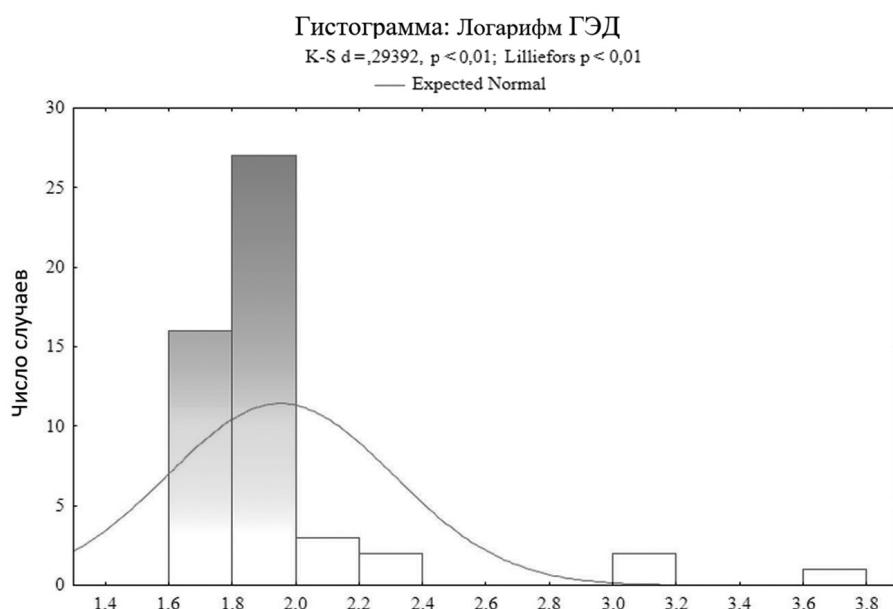


Рис. 3. Гистограмма распределения логарифма ГЭД у военнослужащих

Таблица 3. Тест Краскела-Уоллиса для военнослужащих, проживающих на территориях с разной степенью загрязнения по ^{137}Cs

Зависимая переменная – ГЭД	Лунинец ($43,3 \text{ кБк}/\text{м}^2$) R:26,108	$>43,3 \text{ кБк}/\text{м}^2$ R:25,0	$<43,3 \text{ кБк}/\text{м}^2$ R:26,667
Лунинец ($43,3 \text{ кБк}/\text{м}^2$)	-	$p > 0,05$	$p > 0,05$
$>43,3 \text{ кБк}/\text{м}^2$	$p > 0,05$	-	$p > 0,05$
$<43,3 \text{ кБк}/\text{м}^2$	$p > 0,05$	$p > 0,05$	-

Таблица 4. Тест Краскела-Уоллиса для населения, проживающего на территориях с разной степенью загрязнения по ^{137}Cs

Зависимая переменная – ГЭД	Лунинец ($43,3 \text{ кБк}/\text{м}^2$) R:21959	$>43,3 \text{ кБк}/\text{м}^2$ R:25994	$<43,3 \text{ кБк}/\text{м}^2$ R:21651
Лунинец ($43,3 \text{ кБк}/\text{м}^2$)		$p < 0,0005$	$p = 0,396$
$>43,3 \text{ кБк}/\text{м}^2$	$p = 0,0005$		$p = 0,177$
$<43,3 \text{ кБк}/\text{м}^2$	$p = 0,396$	$p = 0,177$	

проживания и формируемой ГЭД у военнослужащих и населения в целом (табл. 3). Исходя из анализа данных СИЧ заметно, что дозы внутреннего облучения у военнослужащих не связаны напрямую с плотностью загрязнения территории, и отсутствующее различие в дозах облучения может быть связано с централизацией питания, которое, безусловно, влияет на формирование дозы внутреннего облучения. У населения в целом дозы внутреннего облучения на менее и более загрязненных территориях

района в целом отличаются в районном центре ($43,3 \text{ кБк}/\text{м.кв.}$), в сравнении с менее или более загрязненными территориями района, в то время как у военнослужащих этих отличий не выявлено (табл. 3 и 4).

Оценка ГЭД у военнослужащих по гендерному признаку показала, что тенденции в распределении ГЭД аналогичны населению в целом и дозы внутреннего облучения у женщин достоверно выше, чем у мужчин (рис. 4), что подтверждается тестом Манна-Уитни ($p < 0,05$).

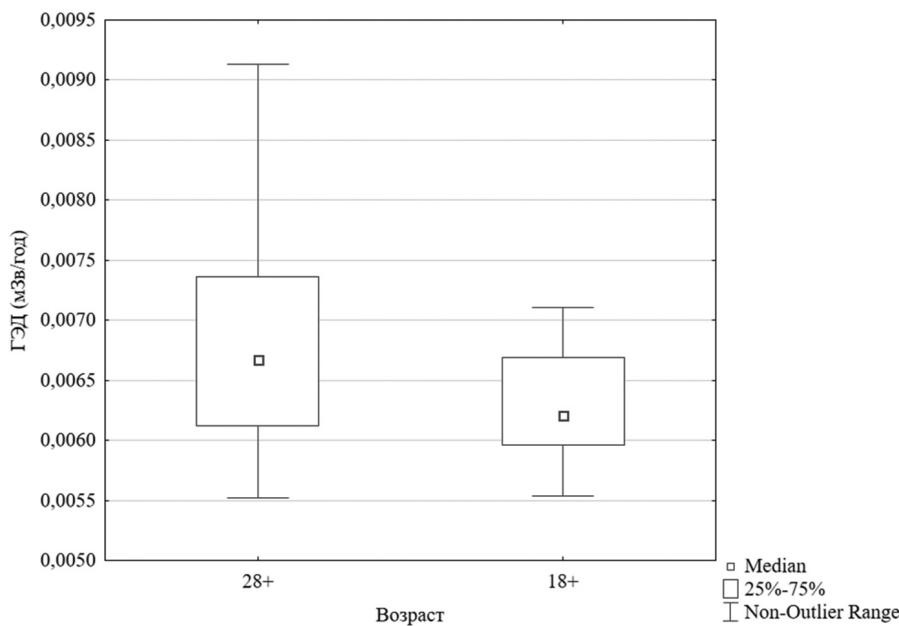


Рис. 4. ГЭД у военнослужащих в зависимости от пола

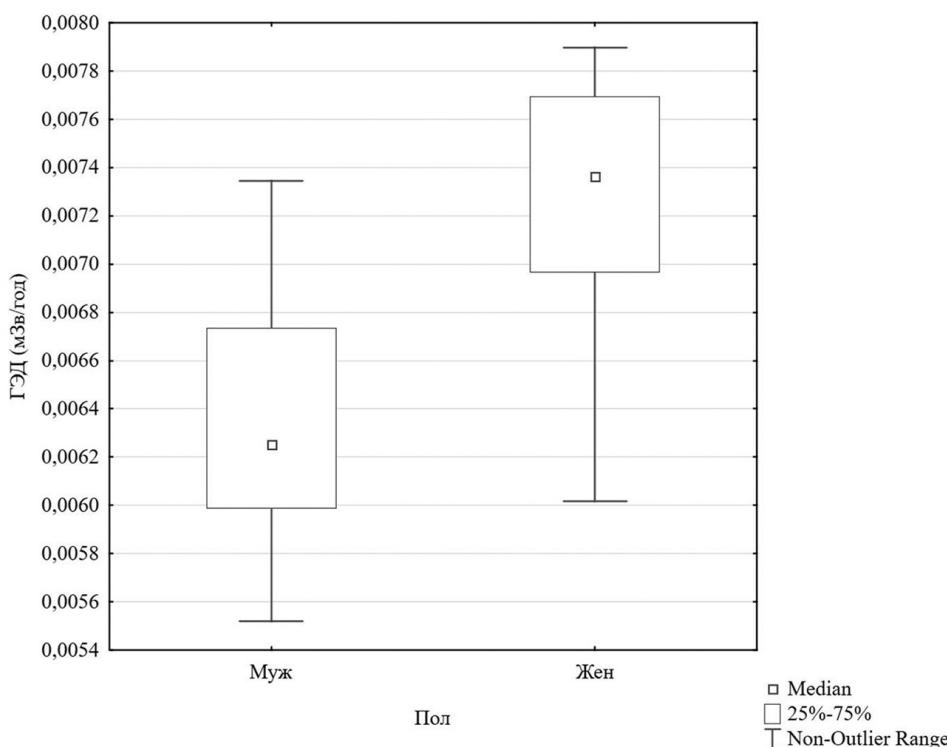


Рис. 5. ГЭД у военнослужащих в зависимости от возраста

Анализ доз облучения по возрастам показал, что у населения в целом существуют достоверные отличия по тесту Краскела-Уоллиса ($p < 0,05$), в то время как у военнослужащих эти отличия недостоверны, что вероятно связано с большей схожестью у них рациона питания и меньшими различиями в возрасте, чем в популяции в целом (рис. 5).

Графический и статистический анализ данных показывает, что у военнослужащих старше 18 лет (18+ на графике) и старше 28 лет (28+) отсутствуют достоверные отличия в ГЭД внутреннего облучения.

Выводы

1. ГЭД внутреннего облучения военнослужащих зависит от пола и не зависит от возраста.

2. Для военнослужащих не обнаружено влияния плотности загрязнения территории Лунинецкого района на ГЭД, в то время как у населения в целом эти отличия имеются.

3. Дозы внутреннего облучения у военнослужащих достоверно ниже, чем у гражданского населения в целом.

Литература

1. Власова, Н. Г. Корректная статистическая оценка суммарной дозы облучения жителей сельского населенного пункта / Н. Г. Власова, А. М. Скрябин // Материалы III международного симпозиума Актуальные проблемы дозиметрии, 15 лет после Чернобыльской катастрофы. Минск: Триолета, 2001.
2. Власова, Н. Г. Концепция репрезентативного лица в системе радиационной защиты: от рекомендаций МКРЗ к практическому применению / Н. Г. Власова // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности. – 2020. № 2(24). – С. 33–39.
3. Fischer, H. A History of the Central Limit Theorem / H. Fischer. – New York: Springer New York, 2011.
4. Kwak, S. G. Central limit theorem: the cornerstone of modern statistics / S. G. Kwak, J. H. Kim // Korean Journal of Anesthesiology. – 2017. – Т. 70: Central limit theorem. – № 2. – С. 144–156.
5. Razali, N. M. Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests / N. M. Razali, Y. B. Wah. – 2011.

References

1. Vlasova, N. G. Korrektnaya statisticheskaya ocenka summarnoj dozy oblucheniya zhitelei sel'skogo naselennogo punkta / N. G. Vlasova, A. M. Skryabin // Materialy III mezhdunarodnogo simpoziuma Aktual'nye problemy dozimetrii, 15 let posle CHernobyl'skoj katastrofy. Minsk: Trioleta, 2001.
2. Vlasova, N. G. Koncepciya reprezentativnogo lica v sisteme radiacionnoj zashchity: ot rekomendacij MKRZ k prakticheskому применению / N. G. Vlasova // Mediko-biologicheskie problemy zhiznedeyatel'nosti. – 2020. No 2(24). – S. 33–39.
3. Fischer, H. A History of the Central Limit Theorem / H. Fischer. – New York: Springer New York, 2011.
4. Kwak, S. G. Central limit theorem: the cornerstone of modern statistics / S. G. Kwak, J. H. Kim // Korean Journal of Anesthesiology. – 2017. – T. 70: Central limit theorem. – No 2. – S. 144–156.
5. Razali, N. M. Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests / N. M. Razali, Y. B. Wah. – 2011.

Поступила 28.05.2025 г.