

*А. Р. Аветисов, А. Н. Стожаров, Л. М. Шевчук*

## СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ЛУНИНЕЦКОГО РАЙОНА БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА 2015–2019 ГОДЫ

*УО «Белорусский государственный медицинский университет»*

*Сформирована группа лиц, проживающих на загрязненных  $^{137}\text{Cs}$  территории Лунинецкого района Брестской области, а также база данных, включающая основные идентификационные показатели. Проведен расчет и оценка годовых эффективных доз внутреннего облучения по результатам 58 809 измерений, полученных с помощью спектрометра излучений человека (СИЧ) в изучаемой когорте за 5-летний период с 2015 по 2019 годы, а также расчет дополнительных показателей в сформированной когорте.*

*Установлено, что дозы внутреннего облучения представляют собой сумму двух распределений. Обнаружено, что 83,3 % измерений СИЧ формируют основную моду бимодального распределения, приближающуюся в частотном распределении к нормальному распределению и отличающейся, преимущественно, гендерными и возрастными особенностями формирования дозы внутреннего облучения. Вторая мода распределения данных отличается существенно более высокими значениями дозы внутреннего облучения, а также распределением дозы по полу, возрасту и некоторым другим параметрам.*

**Ключевые слова:** *цезий-137, возраст, пол, внутреннее облучение.*

*A. Avetisov, A. Stozharov, L. Shevchuk*

## STATISTICAL ANALYSIS OF INTERNAL EXPOSURE DOSE TO POPULATION IN LUNINETSKY DISTRICT OF BREST REGION FOR 2015–2019

*We formed the database which included the main identification indicators about people living in the  $^{137}\text{Cs}$ -contaminated territory (Luninets district, Brest region). The calculation and assessment of annual effective doses from internal exposure was carried out based on the results of 58 809 measurements. We were using the human radiation spectrometer (HRS) to make measurements in the formed cohort during 5 years (from 2015 till 2019).*

*We found that internal exposure doses are the sum of two distributions. 83.3 % of HRS measurements form the main mode of the bimodal distribution. It is close to the normal distribution and different in gender and age features of internal exposure dose formation. The second mode of data distribution is different in significantly higher values of the internal doses and some other parameters like a sex and age.*

**Key words:** *Cesium-137, age, gender, internal exposure.*

Оценка влияния радиоэкологической обстановки на здоровье населения является одним из важнейших направлений в гигиенических и эпидемиологических исследованиях. Известно, что на разных этапах радиационной аварии (раннем, промежуточном

и восстановительном) применяются различные в практической реализации, но схожие по конечным целям мероприятия, обеспечивающие радиационную защиту населения. Критерии для принятия решения и связанные с ними нормативные документы также претерпели изме-

нения за прошедшие годы с момента аварии на ЧАЭС. Эти изменения носили эволюционный характер и ключевым фактором для принятия решений о защите являлась доза облучения человека, которая складывается из дозы внутреннего и внешнего облучения. Если на раннем этапе аварии доза внутреннего облучения могла складываться за счет пяти возможных путей поступления (ингаляционного, энтерального, парентерального, транскутанного и трансплацентарного), то сегодня очевидно, что основным путем поступления радионуклидов является энтеральный тип поступления радионуклидов в организм человека, определяемый потреблением  $^{137}\text{Cs}$  с продуктами питания. Через 35 лет после Чернобыльской аварии ингаляционная компонента дозы внутреннего облучения в 30-километровой зоне в условиях тушения пожаров не превышает 0,1 мЗв/год [1], что позволяет исключить данный компонент дозы из расчетов для населения. Исследования трансплацентарного пути воздействия [2–4] постепенно развиваются, но охватывают лишь относительно небольшую часть населения.

Изменение радиозоологической обстановки в постчернобыльский период сначала происходило достаточно быстро, что отражалась в соответствующих мероприятиях и документах раннего, промежуточного и восстановительного периодов. В то же время сам восстановительный период претерпевал эволюционные изменения, что логически связано как с распадом короткоживущих изотопов, так и постепенному изменению качественных и количественных показателей миграции радионуклидов в почве, и, как следствие, в системе «почва – продукты питания» [5, 6]. В этой связи сегодня на первое место выходит анализ доз внутреннего облучения преимущественно за счет потребления нутриентов.

Прямые измерения содержания  $^{137}\text{Cs}$  в организме лиц, проживающих на загрязненных радионуклидами территориях, де-факто являются «золотым стандартом» для расчета и последующей оценки доз внутреннего облучения населения. Использование существующих данных о радиационно-экологической обстановке, особенностях проживания населения и данных, полученных с помощью спектрометра излучений человека (СИЧ) позволяют достаточно точно охарактеризовать тенденции формирования доз внутреннего облучения и потенциальных

рисков здоровью населения. В последующем эти данные могут стать основой разработки вполне определенных моделей для оценки доз и рисков облучения населения, что позволит рационально распределить ресурсы профилактических мероприятий с целью защиты здоровья населения. В этом случае становится крайне важной и актуальной разработка адекватных моделей с последующей корректировкой данных по результатам СИЧ-радиометрии.

Известно, что проблема корректной статистической обработки данных является одной из ключевых в любом научном исследовании. Благодаря постоянному развитию математического аппарата статистических исследований и возможностей компьютерных технологий обработки данных появляются как новые инструменты анализа данных, так и возможности обработки больших массивов данных.

Нами был проведен статистический анализ данных более чем 58 000 измерений доз внутреннего облучения по результатам измерений активности  $^{137}\text{Cs}$  в организме жителей Лунинецкого района Брестской области с помощью СИЧ, осуществленных в период с 2015 по 2019 годы.

**Цель:** изучить особенности статистического распределения данных измерений СИЧ у жителей Лунинецкого района Брестской области.

**Задачи:** изучить общие закономерности и особенности статистического распределения данных, а также их зависимость от возраста, пола, плотности загрязнения территории  $^{137}\text{Cs}$  и некоторых других факторов.

### Материалы и методы

Использованы данные 58 809 измерений СИЧ в Лунинецком районе за 2015–2019 годы, полученные от центральной районной больницы Лунинецкого района в рамках договора о сотрудничестве. Расчет дополнительных показателей и предварительная математическая обработка результатов проводились с помощью программы MS Excel, статистическая обработка данных проводилась с помощью программы Statsoft Statistica 12. Расчет годовой эффективной дозы внутреннего облучения проводился в соответствии с инструкцией по применению [7].

**Результаты и обсуждение.** Описательная статистика измерений и расчетов годовой эффективной дозы внутреннего облучения (ГЭД)

Таблица 1. Меры центральной тенденции дозы внутреннего облучения

Показатель	N	Среднее арифметическое	Среднее геометрическое	Медиана	Мода
ГЭД (мЗв/год)	58 809	0,0118	0,00876	0,00704	0,00638

с помощью СИЧ показала, что данные распределены весьма необычно (таблица 1).

Обнаружено, что меры центральной тенденции для годовой эффективной дозы внутреннего облучения (ГЭД) существенно отличаются. Так, среднее значение ГЭД существенно отличается от среднего геометрического (в 1,35 раза), медианы (в 1,68 раз). Можно заметить, что среднее значение в 1,85 раз превышает значение моды. Эти факты указывают на выраженную ненормальность распределения данных, невзирая на то, что число измерений приближается к 60 тысячам. В то же время известно [8, 9], что большие массивы однотипных данных согласно центральной предельной теореме статистики должны стремиться к среднему значению в генеральной совокупности вне зависимости от типа распределения данных. Этот факт может указывать либо на аналогичный характер распределения в генеральной совокупности, а именно базе данных всех измерений СИЧ в Республике Беларусь, либо о специфических особенностях распределения данных измерений в Лунинецком районе, что, с учетом большого числа измерений, маловероятно. Дополнительный статистический анализ данных, а именно показатели меры изменчивости ГЭД (таблица 2) подтвердил, что распределение данных измерений с помощью СИЧ у жи-

телей Лунинецкого района за 5-летний период существенно отличается от нормального.

Можно заметить, что максимальное значение ГЭД и его верхний квартиль отличаются в 967 раз. Необычность распределения данных подтверждается также необычайно высокими значениями асимметрии и эксцесса. Эти факты также указывают на то, что распределение данных ГЭД у лиц, проживающих в Лунинецком районе Брестской области существенно отличается от нормального распределения. Известно, что если предположение о нормальности распределения сомнительно, то дальнейшая интерпретация результатов и выводы без надлежащего контроля этого предположения могут быть ненадежными или недействительными [10]. В этой связи на каждом этапе исследования нами были проведены соответствующие тесты. Общее графическое представление распределения данных, их оценка с помощью одновыборочного критерия Колмогорова-Смирнова и Лилиефорса, а также графическое представление распределения этих данных подтвердили выраженные отличия от нормального распределения (рисунки 1, 2).

Из литературных источников, посвященных анализу данных измерений СИЧ [11, 12] известно, что результаты могут представлять собой логнормальное или сумму логнормальных

Таблица 2. Меры изменчивости данных ГЭД

Показатель	Min	Max	Нижний квартиль	Верхний квартиль	Стандартное отклонение	Асимметрия	Эксцесс
ГЭД (мЗв/год)	0,00376	8,0568	0,0064	0,00833	0,0395	149,05	29566

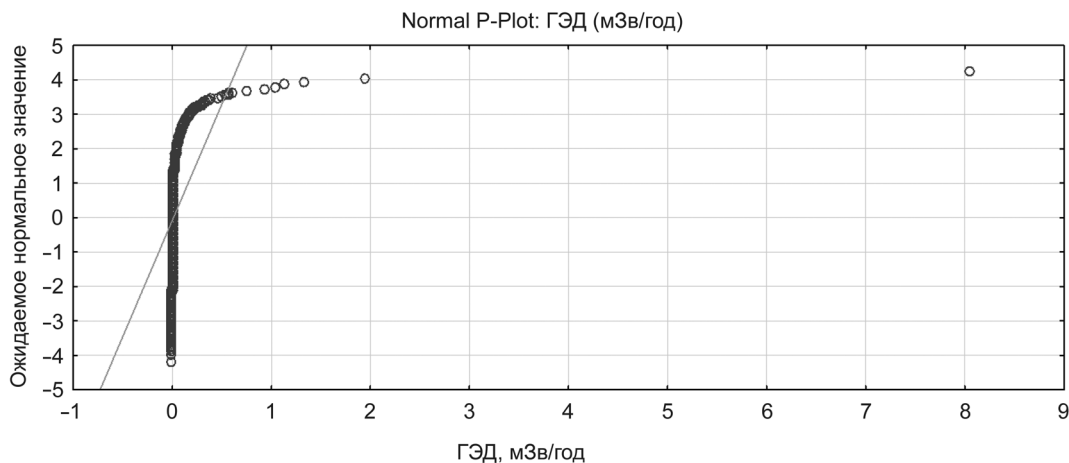


Рисунок 1. График нормальной вероятности распределения данных

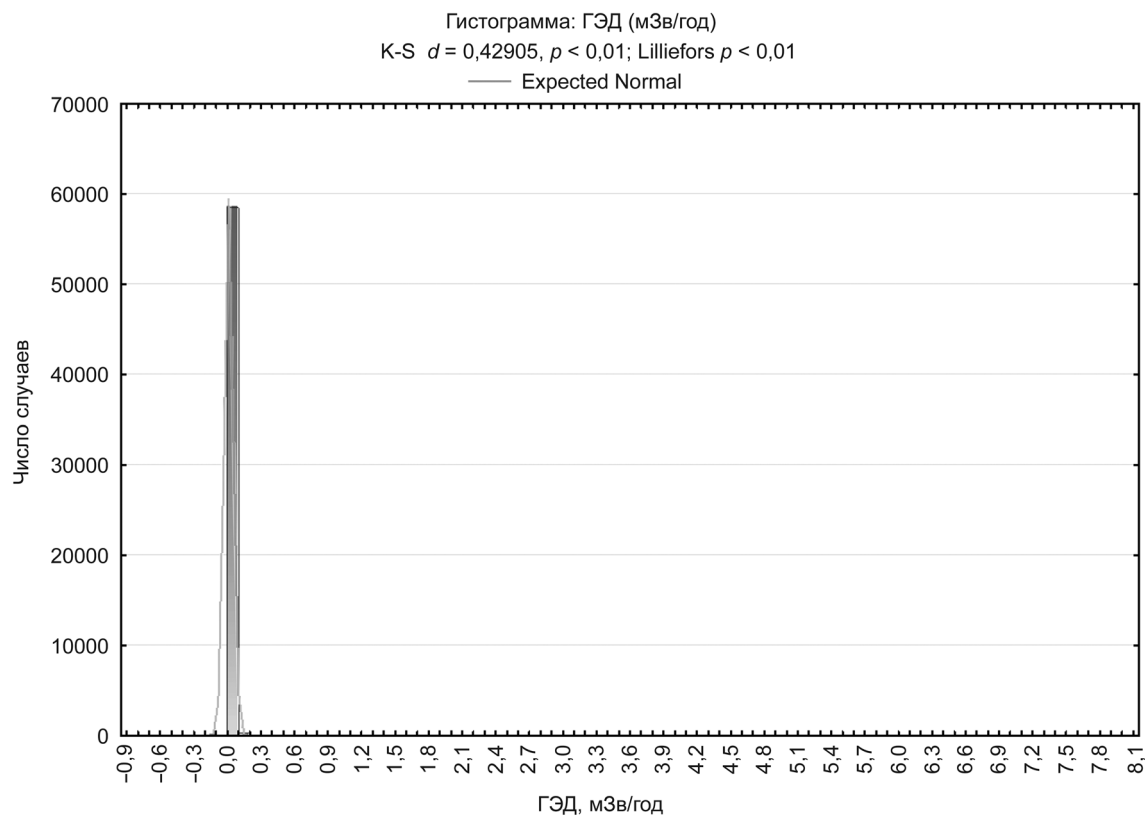


Рисунок 2. Гистограмма распределения данных с тестами Колмогорова-Смирнова и Лиллиефорса

распределений. С целью проверки этого предположения для данных по Лунинецкому району Брестской области нами было проведено логарифмирование значений ГЭД, выраженных в мкЗв/год для удобства восприятия информации, т. к. логарифм доз, выраженных с мЗв/год находится преимущественно в отрицательном диапазоне значений. Описательная статистика логарифмирования данных представлена в таблице 3, гистограмма частот распределения данных представлена на рисунке 3.

Из приведенных данных очевидно, что присутствует не только выраженная асимметрия, но и бимодальность распределения данных, что требует отдельного тщательного изучения. Попытка разделения данных по какому-либо очевидному признаку (пол, возраст, населенный пункт, год измерения) также не изменили общую картину бимодальности распределения логарифма ГЭД.

Учитывая известные типы распределений больших наборов данных, очевидную графическую выраженность границ мультимодальных

распределений и, как следствие, низкую возможность значимости математической суммы распределений между первой и второй модами распределений, нами на основании статистического анализа данных было произведено разделение бимодального распределения данных на два одномодальных распределения с целью их дальнейшей сравнительной оценки.

Оценка частотного распределения первой моды распределения данных показала, что и ГЭД, и логарифм ГЭД графически приближаются к нормальному распределению, но не проходят соответствующие тесты Колмогорова-Смирнова и Лиллиефорса (рисунок 4). Анализ данных для отдельных возрастных групп показал, что лишь в группе детей в возрасте 1–2 года распределение данных ГЭД проходит тест на нормальность распределения, что, вероятно, связано с относительной однотипностью пищевого рациона в данном возрастном периоде.

Оценка частотного распределения второй моды распределения данных показала, что

Таблица 3. Описательная статистика Логарифма ГЭД

Показатель	N	Среднее	Медиана	Min	Max	Стд. откл.	Асимметрия	Эксцесс
Логарифм от ГЭД в мкЗв/год	58 809	2,169	1,951	1,008	8,99	0,585	2,3481	6,074

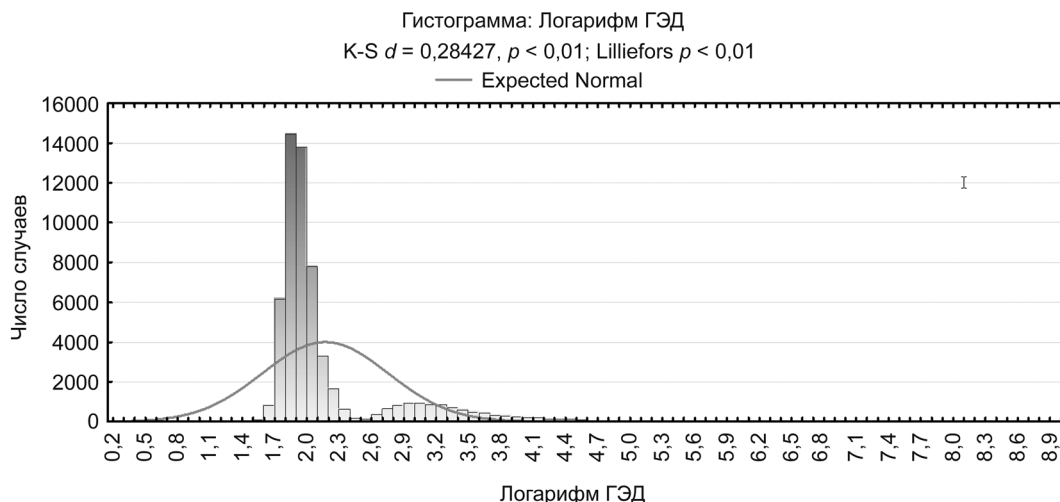


Рисунок 3. Гистограмма частот распределения логарифма ГЭД в мкЗв/год

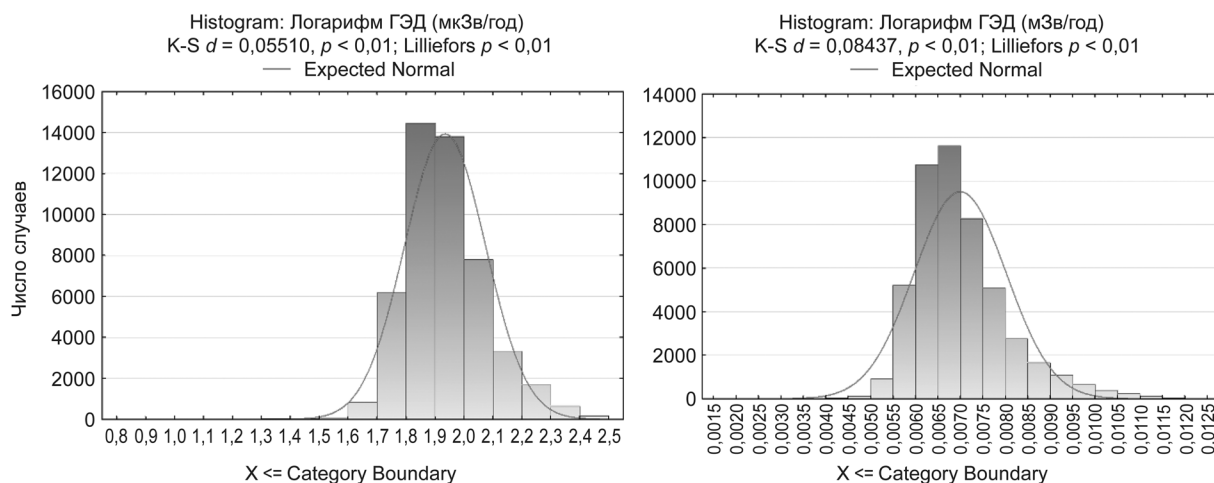


Рисунок 4. Гистограммы частотного распределения логарифма ГЭД (слева) и ГЭД (справа) для первой моды распределения данных с тестом на нормальность распределения

и ГЭД, и логарифм ГЭД обладают довольно выраженными отклонениями от нормальности с длинными правыми хвостами распределения (рисунок 5). Так, 95 % данных ГЭД находится в диапазоне от 0,012 до 0,083 мЗв/год, что отличает минимум и максимум в 6,9 раз, в то время как оставшиеся 5 % значений без учета экстремума в 8,05 мЗв/год, находятся в диапазоне 0,083–1,96, что отличает абсолютные значения в 23,6 раза. Это существенно контрастирует с первой модой распределения данных, представленной на рисунке 4, где практически отсутствует правый хвост распределения данных.

Подобные результаты свидетельствуют о необходимости дополнительного глубокого анализа полученных данных, т. к. причины могут быть мультифакторными, т. е. связанными как с необходимостью анализа неопределенно-

стей результатов измерений, так и, возможно, с особенностями лиц, формирующую указанную когорту и составляющую 16,7 % данных от 58809 измерений, произведенный в период с 2015 по 2019 годы.

На следующем этапе исследования нами предпринята попытка сравнительной оценки распределения данных в каждом распределении. Оценка распределения эффективных доз внутреннего облучения по годам показала прогрессивное и достоверное снижение ГЭД в первом распределении и отсутствие выраженных тенденций для ГЭД во втором (рисунок 6).

Можно заметить, что кроме существенных отличий в абсолютных значениях ГЭД, в первом пике распределения данных наблюдаются значительно менее выраженные отличия между средними значениями и медианой в сравнении со вторым пиком распределения, а также

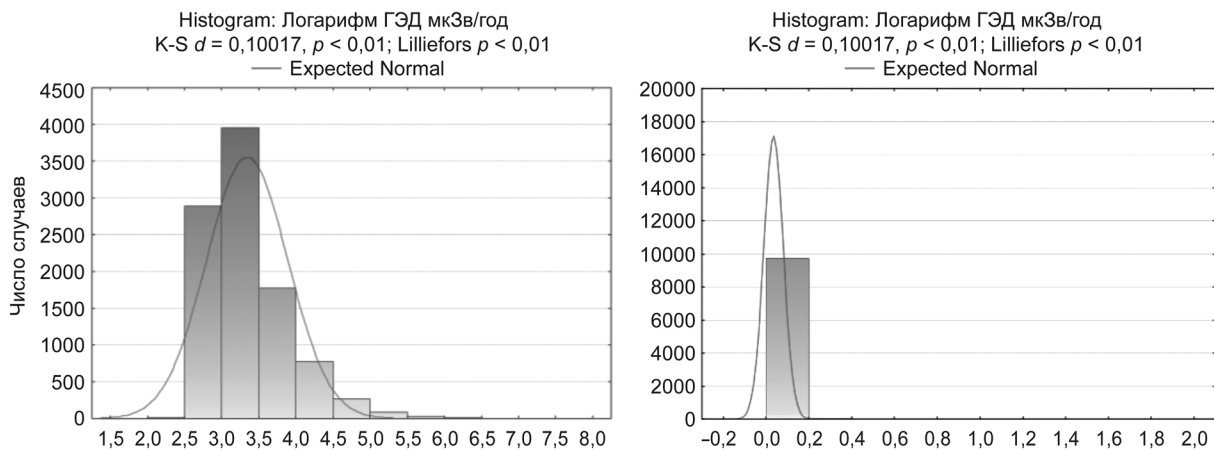


Рисунок 5. Гистограммы частотного распределения логарифма ГЭД (слева) и ГЭД (справа) для второй моды распределения данных

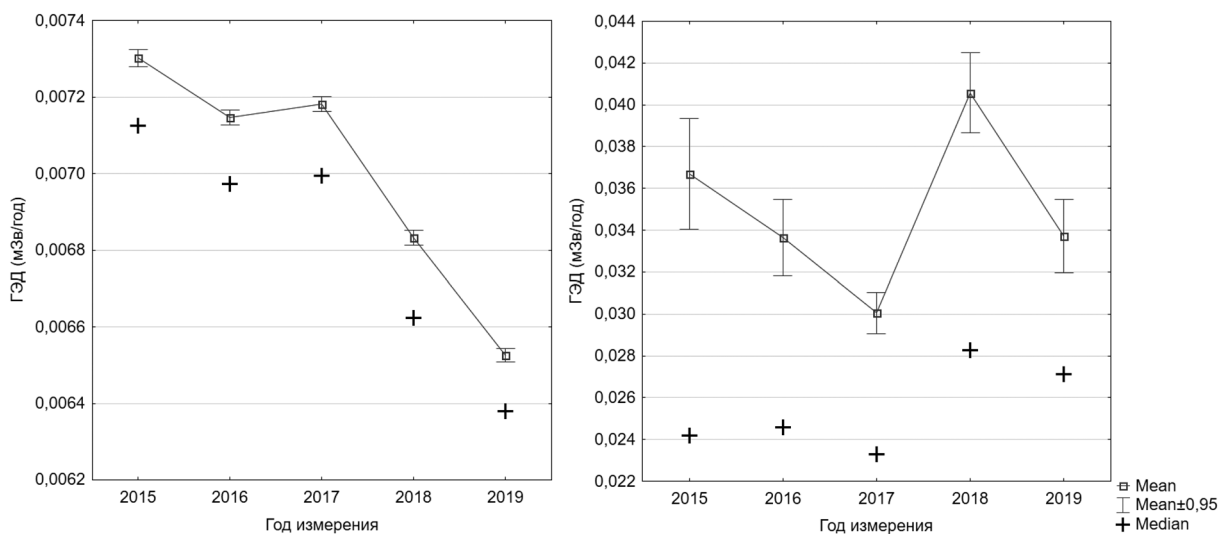


Рисунок 6. Изменения средних значений и медианы ГЭД по годам для первого (слева) и второго (справа) пиков распределения данных

выраженная тенденция к снижению доз облучения со временем. Во втором пике распределения данных, напротив, наблюдается достоверное увеличение медианы дозы облучения в 2018 и 2019 годах в сравнении с предыдущими годами. Обе тенденции подтверждаются тестом Краскела-Уоллиса с достоверностью на уровне значимости  $p < 0,01$ . Перечисленные факты говорят о том, что представителей населения, относящихся ко второй моде распределения данных можно отнести к понятию «средний представитель критической группы», которое в современных публикациях принято называть эквивалентным понятием «репрезентативное лицо», определение которого впервые введено в публикацию Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) номер 101а и получило свое дальнейшее развитие в публикации МКРЗ 103.

На следующем этапе исследования нами проведен анализ ГЭД в двух группах распределения данных в зависимости от возраста лиц, включенных в базу данных. Возрастные группы были сформированы в соответствии с рекомендациями МКРЗ и уже упомянутой выше инструкцией по применению [7]. Графическая характеристика мер центральных тенденций обеих групп данных представлена на рисунке 7.

На представленном рисунке можно заметить, что кроме существенных отличий в абсолютных значениях ГЭД, в первой моде распределения данных практически отсутствуют отличия между средними значениями и медианой, чего не наблюдается во второй моде распределения данных. Другой важной отличительной чертой представленных распределений является направленность изменений ГЭД с возрастом.

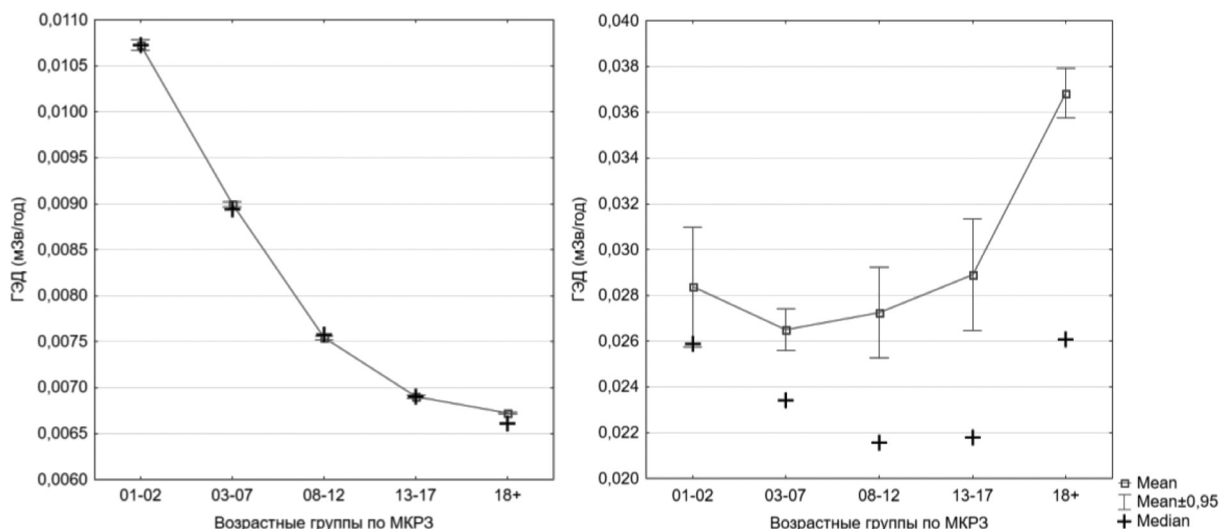


Рисунок 7. Изменения средних значений и медианы ГЭД по годам для первого (слева) и второго (справа) типов распределения данных

В первой моде распределения данных наблюдаются достоверное снижение ГЭД с возрастом, в то время как во второй моде распределения направленность изменений у детей сомнительна, а у взрослых противоположна первой моде распределения данных. Графическое описание для первой моды распределения данных подтверждаются тестом Краскела-Уоллиса с достоверностью на уровне значимости  $p < 0,01$ , включая достоверные отличия между всеми представленными возрастными группами. В то же время, статистически значимые отличия по возрастам во второй моде распределения данных носят бессистемный и разнонаправленный характер. Так, не наблюдается отличий ГЭД у взрослых лиц в сравнении с детьми в возрасте 1–2 лет, между детьми

8–12 лет и 13–17 лет, между детьми 1–2 лет и 3–7 лет. Эти факты указывают на наличие случайных, бессистемных факторов, влияющих на формирование ГЭД у лиц, относящихся ко второй моде распределения данных. Этот же факт с учетом значительно большей ГЭД между двумя модами распределения данных позволяет отнести все возрастные группы второй моды распределения данных к группе репрезентативных лиц по определению МКРЗ.

На следующем этапе нами были проанализированы гендерные различия ГЭД (рисунок 8, таблицы 4, 5). Обнаружено, что лица, относящиеся к первой моде распределения данных помимо значительно меньших величин ГЭД существенно отличаются величиной различий медианы и среднего значения ГЭД, а также

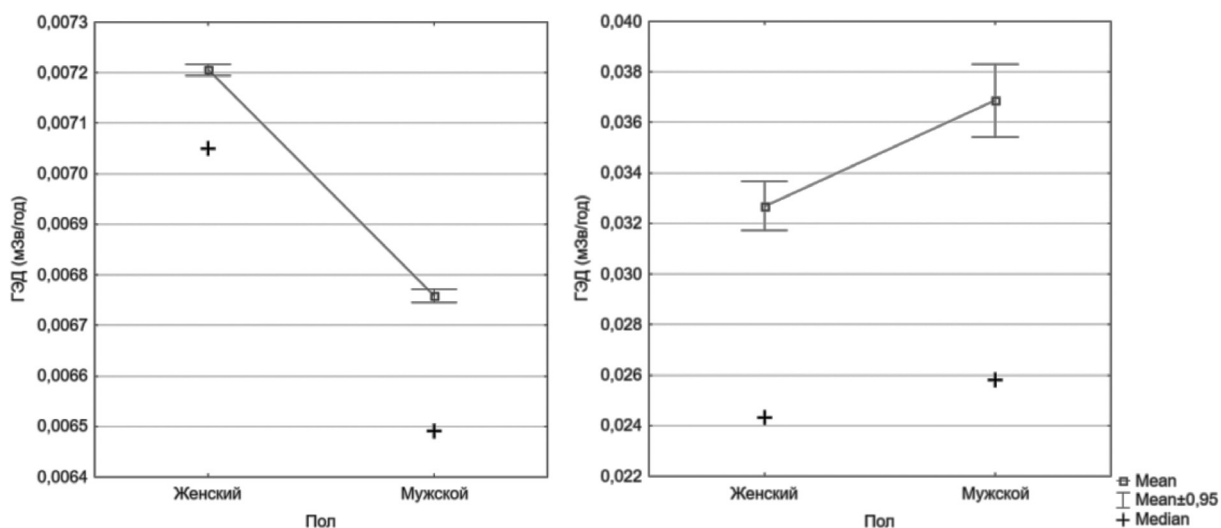


Рисунок 8. Изменения средних значений и медианы ГЭД у мужчин и женщин для первого (слева) и второго (справа) типов распределения данных

Таблица 4. Тест Манна-Уитни для мужчин и женщин, относящихся к первой моде распределения данных

Показатель	Сумма рангов Женщины	Сумма рангов Мужчины	<i>U</i>	<i>Z</i>	<i>p</i>	Valid N Женщины	Valid N Мужчины
ГЭД (мЗв/год)	735759688	465450918	197107557	65,41	< 0,01	25848	23166

Таблица 5. Тест Манна-Уитни для мужчин и женщин, относящихся ко второй моде распределения данных

Показатель	Сумма рангов Мужчины	Сумма рангов Женщины	<i>U</i>	<i>Z</i>	<i>p</i>	Valid N Мужчины	Valid N Женщины
ГЭД (мЗв/год)	26998960	20967155	11271749	4,286	< 0,01	5391	4403

диаметрально противоположной направленностью изменений ГЭД: для первой моды распределения данных достоверно преобладает облучение женщин, а для второй – у мужчин.

Анализ гендерных различий показывает, что и женщины, и мужчины, относящиеся ко второй моде распределения данных, получают ГЭД в 3–4 раза большую, чем лица из первой моды распределения. При этом мужчины из второй группы, в отличие от первой, получают достоверно большую ГЭД, чем женщины. Данные факты также указывают на возможность отнесения лиц мужского пола из второй моды распределения данных к понятию «репрезентативное лицо» согласно определению МКРЗ.

На следующем этапе нами были проанализированы данные о плотности загрязнения территории в ее связи с ГЭД. Результаты статистического анализа представлены в таблицах 6 и 7, а также на рисунке 9.

Можно заметить важную особенность, что у лиц, проживающих в Лунинце и относящихся к первой моде распределения данных, ГЭД

достоверно выше, чем у жителей, как менее загрязненных, так и более загрязненных территорий. На этом фоне не наблюдается достоверных различий в ГЭД между более и менее загрязненными территориями. Это подтверждается статистикой Краскела-Уоллиса с достоверностью  $p < 0,01$ .

Предварительный вывод о том, что именно жители Лунинца по каким-либо причинам потребляют больше  $^{137}\text{Cs}$ , чем жители территорий с достоверно большими или меньшими значениями плотности загрязнения территории представляется нам недостаточно логичным. Из литературных источников известно [13], что на формирование дозы может влиять площадь леса вокруг населенного пункта или размер сельского населенного пункта. При этом даже беглого взгляда на топографическую карту района достаточно, чтобы понять, что Лунинец не отличается более выраженной лесистостью местности и не относится к понятию «сельский населенный пункт». Следовательно, причину более высоких доз внутреннего облучения следует

Таблица 6. Тест Краскела-Уоллиса для лиц, проживающих на территориях с различной степенью загрязнения  $^{137}\text{Cs}$ , относящихся к первой моде распределения данных

ГЭД (мЗв/год)	Пик 1: Тест Краскела-Уоллиса, множественное сравнение (z-критерий), ГЭД (мЗв/год); групповая переменная: Cs-137 (кБк/м <sup>2</sup> ), <i>N</i> (2, <i>N</i> = 49014) = 987,3596		
	43,3 кБк/м <sup>2</sup> R:21959	> 43,3 кБк/м <sup>2</sup> R:25994	< 43,3 кБк/м <sup>2</sup> R:21651
43,3 кБк/м <sup>2</sup>	–	$p < 0,01$	$p < 0,01$
> 43,3 кБк/м <sup>2</sup>	$p < 0,01$	–	$p > 0,05$
< 43,3 кБк/м <sup>2</sup>	$p < 0,01$	$p > 0,05$	–

Таблица 7. Тест Краскела-Уоллиса для лиц, проживающих на территориях с различной степенью загрязнения  $^{137}\text{Cs}$ , относящихся ко второй моде распределения данных

ГЭД (мЗв/год)	Пик 2: Тест Краскела-Уоллиса, множественное сравнение (z-критерий), ГЭД (мЗв/год); групповая переменная: Cs-137 (кБк/м <sup>2</sup> ), <i>N</i> (2, <i>N</i> = 9794) = 311,1639		
	43,3 кБк/м <sup>2</sup> R:4410,6	> 43,3 кБк/м <sup>2</sup> R:5535,6	< 43,3 кБк/м <sup>2</sup> R:4852,9
43,3 кБк/м <sup>2</sup>	–	$p < 0,01$	$p < 0,01$
> 43,3 кБк/м <sup>2</sup>	$p < 0,01$	–	$p < 0,01$
< 43,3 кБк/м <sup>2</sup>	$p < 0,01$	$p < 0,01$	–



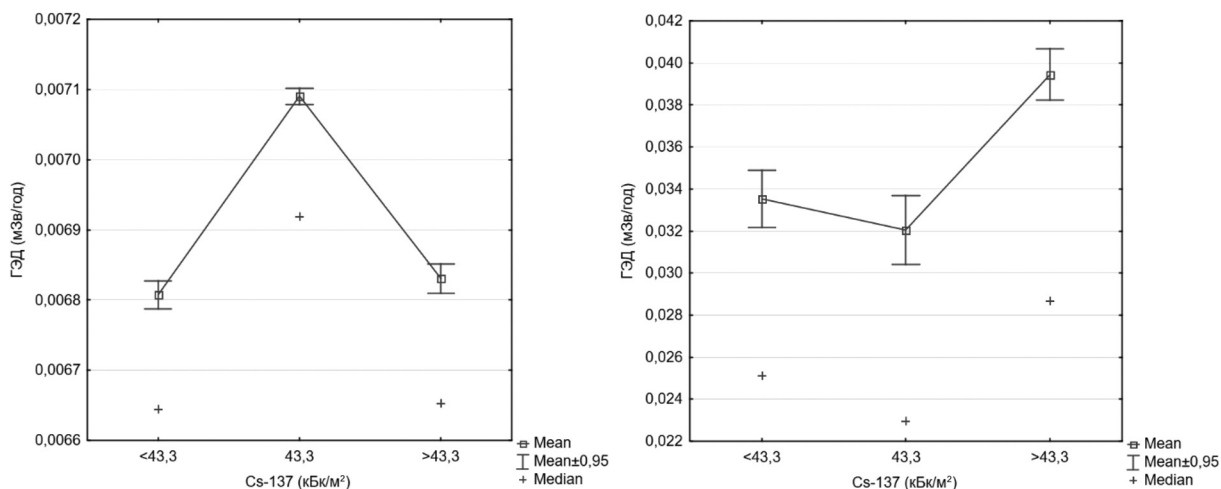


Рисунок 9. Изменения средних значений и медианы ГЭД у лиц, проживающих в Лунинце (43,3 kBq/m<sup>2</sup>) в сравнении загрязненными в различной степени территориями Лунинецкого района для первой (слева) и второй (справа) моды распределения данных

искать в других параметрах, относящихся к жителям Луинца и района в целом.

В предыдущих исследованиях было показано [14], что изменения, аналогичные первой моде распределения данных характерны, в том числе, для особенностей накопления <sup>40</sup>K в организме жителей Лунинецкого района. Было выявлено, что этим наиболее значимым параметром является возраст жителей населенных пунктов. Учитывая тот факт, что калий и цезий являются щелочными металлами, аналогичная картина может наблюдаться и для накопления <sup>137</sup>Cs. В этой связи можно сделать предварительный вывод о том, что именно возраст является достоверно значимым параметром для формирования ГЭД у жителей населенного пункта вне зависимости от наличия каких-либо

других дополнительных факторов инкорпорации <sup>137</sup>Cs.

Графический анализ (рисунок 10) показывает, что возраст жителей Луинца ниже, чем у жителей других населенных пунктов района. Эти возрастные отличия статистически достоверны ( $p < 0,01$ ). Учитывая данные, представленные на рисунке 7 с их статистическим обоснованием становится понятной наиболее вероятная причина отличий в ГЭД для жителей Луинца в сравнении с другими населенными пунктами, а именно достаточно выраженные возрастзависимые изменения ГЭД, характерные для первой моды распределения данных.

Из графических данных, представленных на рисунке 10, можно заметить однонаправленность изменений на фоне отличий в среднем

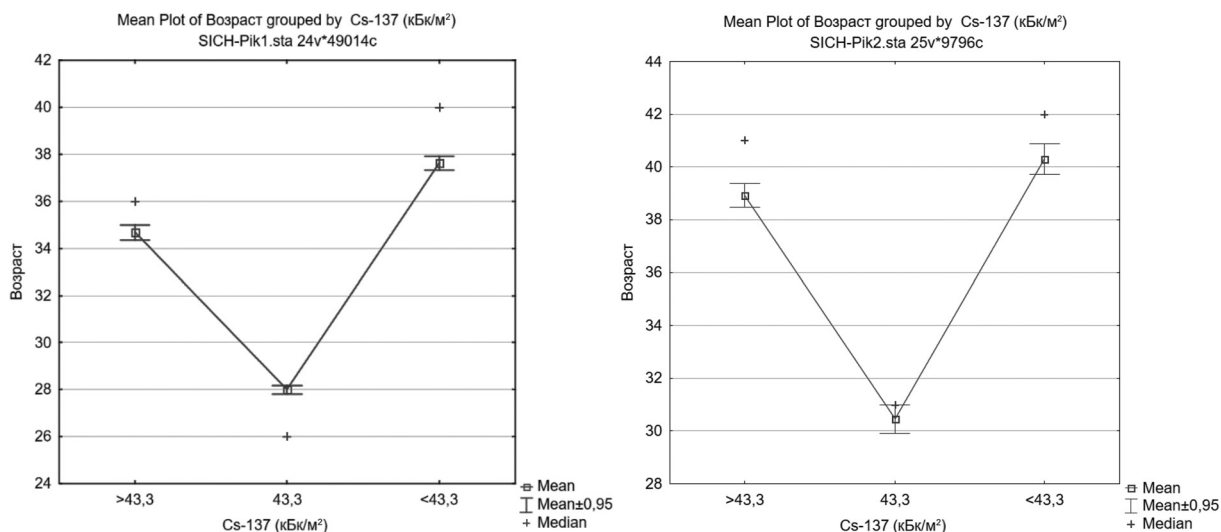


Рисунок 10. Возрастные отличия жителей Луинца (43,3 kBq/m<sup>2</sup>) от других населенных пунктов района для первой (слева) и второй (справа) моды распределения данных

возрасте лиц, относящихся к разным распределениям. Тест Краскела-Уоллиса и попарное сравнение представленных данных с помощью теста Манна-Уитни показали достоверные их отличия на уровне  $p < 0,01$ . Это указывает на еще одну особенность лиц, относящихся ко второй моде распределения данных, которая заключается в их большем возрасте, в сравнении с населением в целом.

Интересным также является тот факт, что наблюдаются статистически значимые различия для всех указанных выше групп внутри второй моды распределения данных ( $p < 0,01$ ). Анализ этих данных показывает, что наиболее критичной группой, т. е. относящейся к понятию «репрезентативное лицо», следует отнести жителей наиболее загрязненных населенных пунктов района, относящихся ко второй моде распределения данных. Из этого следует вполне логичный вывод о том, что лица, проживающие на более загрязненных радионуклидами территориях, но не ограничивающие себя в пищевом поведении, получают существенно большие ГЭД. В то же время для первой моды распределения данных подобных достоверных отличий не наблюдается.

Учитывая выявленный ранее факт зависимости накопления  $^{40}\text{K}$  от возраста [14] нами была проанализирована связь между измеренной активностью  $^{40}\text{K}$  и  $^{137}\text{Cs}$ . Коэффициент корреляции Спирмена составил 0,786 при уровне значимости  $p < 0,05$  (таблица 8).

**Таблица 8. Корреляция Спирмена между измеренной активностью  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  и индексом массы тела обследованных**

Показатель	Корреляция Спирмена для первой моды распределения данных		
	$^{40}\text{K}$ (Бк)	Индекс массы тела	$^{137}\text{Cs}$ (Бк)
$^{137}\text{Cs}$ (Бк)	$r = 0,786;$ $p < 0,05$	$r = 0,954;$ $p < 0,05$	–
$^{40}\text{K}$ (Бк)	–	$r = 0,72;$ $p < 0,05$	$r = 0,786;$ $p < 0,05$

Можно заметить, что корреляция между измеренной активностью  $^{137}\text{Cs}$  и индексом массы тела находится на высоком уровне, в то время как для  $^{40}\text{K}$  эта величина несколько ниже. Аналогичная зависимость наблюдается и для связи между возрастом и измеренной активностью  $^{137}\text{Cs}$  ( $r = 0,69; p < 0,05$ ).

#### Выводы:

1. Бимодальность распределения данных требует отдельного изучения каждой выбор-

ки, что объясняется достоверными различиями в величинах доз внутреннего облучения.

2. Первая мода распределения данных включает 83,3 % всех измерений и представляет собой наиболее типичное распределение доз внутреннего облучения населения района.

3. Вторая мода распределения данных включает 16,7 % данных и может быть в целом отнесена к понятию «репрезентативного лица».

4. В каждом распределении данных существуют преимущественно гендерные и возрастные отличия.

#### Литература

1. Буздалкин, К. Н. Облучение персонала в результате ингаляционного поступления радионуклидов в белорусском секторе зоны отчуждения Чернобыльской АЭС / К. Н. Буздалкин, Н. Г. Власова. – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», 2021. – С. 169–171.

2. Стожаров, А. Н. Молекулярные особенности альбумина сыворотки крови детей, облученных in utero / А. Н. Стожаров // БГМУ: 90 лет в авангарде медицинской науки и практики: сб. науч. тр. / Белорус. гос. мед. ун-т; редкол.: А. В. Сикорский [и др.]. – Минск: ГУ РНМБ, 2011. – Т. 1. – С. 89.

3. Психоземональный статус жителей Беларуси, облученных в результате аварии на Чернобыльской АЭС / Л. А. Вайнштейн [и др.] // Здоровье и окружающая среда: сборник научных трудов РУП «Научно-практический центр гигиены». – 2018. – Вып. 28, № 28. – С. 57–63.

4. Sychik, S. I. The functional state of the thyroid system of children exposed in utero as a result of the Chernobyl disaster / S. I. Sychik, A. N. Stozharov, B. K. Voronetskiy // Problems of Endocrinology. – 2019. – Т. 45, № 1. – С. 26–29.

5. Цыбулько, Н. Н. Временная динамика параметров миграции  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в системе почва–растение: сравнительный анализ / Н. Н. Цыбулько // Почвоведение и агрохимия. – 2015. – Т. 55, № 2. – С. 92–101.

6. Цыбулько, Н. Н. Поступление  $^{137}\text{Cs}$  в растения яровой пшеницы и многолетних трав на торфяно-глеевой почве в зависимости от уровня калийного питания / Н. Н. Цыбулько, А. В. Шашко // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 2. – С. 113–123.

7. Метод оценки средней годовой эффективной дозы облучения жителей населенных пунктов, расположенных на территории, загрязненной радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС: инструкция по применению: утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь 12.12.2014. – Гомель: ГУ «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека», 2014. – 9 с.

8. Fischer, H. A History of the Central Limit Theorem / H. Fischer. – New York: Springer New York, 2011.

9. 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.

10. Razali, N. M. Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests / N. M. Razali, Y. B. Wah. – 2011.

11. 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.

12. 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.

13. Власова, Н. Г., Висенберг Ю. В., Евтушкова Г. Н., Дрозд Е. А. Оценка доз облучения населения в отдаленном периоде после Чернобыльской аварии // Проблемы здоровья и экологии. – 2014. – № 4(42). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-doz-oblucheniya-naseleniya-v-otdalennom-periodе-posle-chernobylskoj-avarii> (дата обращения: 08.02.2023).

14. Аветисов, А. Р. Инкорпорация 40 К у жителей Лунинецкого района Брестской области / А. Р. Аветисов, А. Н. Стожаров // Медицинский журнал. – 2022. – № 3. – С. 39–43.

## References

1. Buzdalkin, K. N. Obluchenie personala v rezultate ingalyacionnogo postupleniya radionuklidov v belorusskom sektore zony otchuzhdeniya chernobylskoj AES / K. N. Buzdalkin, N. G. Vlasova. – Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe nauchnoe uchrezhdenie «Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut radiologii i agroekologii», 2021. – S. 169–171.

2. Stozharov, A. N. Molekulyarnye osobennosti albumina syvorotki krovi detej, obluchennyh in utero / A. N. Stozharov // BGMU: 90 let v avangarde medicinskoj nauki i praktiki: sb. nauch. tr. / Belarus. gos. med. un-t; redkol.: A. V. Sikorskij [et al.]. – Minsk: GU RNMB, 2011. – T. 1. – С. 89.

3. Psihoemocionalnyj status zhitelej Belarusi, obluchennyh v rezultate аварии na Chernobylskoj AES / L. A. Vajnshtejn [et al.] // Zdorove i okruzhayushaya sreda: sbornik nauchnyh trudov RUP «Nauchno-prakticheskij centr gigeny». – 2018. – Vyp. 28, № 28. – S. 57–63.

4. Sychik, S. I. The functional state of the thyroid system of children exposed in utero as a result of the Chernobyl disaster / S. I. Sychik, A. N. Stozharov, B. K. Voronetskiy // Problems of Endocrinology. – 2019. – T. 45, № 1. – С. 26–29.

5. Cybulko, N. N. Vremennaya dinamika parametrov migracii  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  v sisteme pochva–rastenie: sravnitelnyj analiz / N. N. Cybulko // Pochvovedenie i agrohimiya. – 2015. – T. 55, № 2. – S. 92–101.

6. Cybulko, N. N. Postuplenie  $^{137}\text{Cs}$  v rasteniya yarovoj pshenicy i mnogoletnih trav na torfyano-gleevoj pochve v zavisimosti ot urovnej kalijnogo pitaniya / N. N. Cybulko, A. V. Shashko // Pochvovedenie i agrohimiya. – 2016. – № 2. – S. 113–123.

7. Metod ocenki srednej godovoj effektivnoj dozy oblucheniya zhitelej naselennyh punktov, raspolozhennyh na territorii, zagryaznennoj radionuklidami v rezultate аварии na Chernobylskoj AES: instrukciya po primeneniyu: utv. M-vom zdavoohraneniya Resp. Belarus 12.12.2014. – Gomel: GU «Respublikanskij nauchno-prakticheskij centr radiacionnoj mediciny i ekologii cheloveka», 2014. – 9 s.

8. Fischer, H. A History of the Central Limit Theorem / H. Fischer. – New York: Springer New York, 2011.

9. 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. – № 2. – С. 144–156.

10. Razali, N. M. Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests / N. M. Razali, Y. B. Wah. – 2011.

11. Vlasova, N. G. Korrektnaya statisticheskaya ocenka summarnoj dozy oblucheniya zhitelej selskogo naselennogo punkta / N. G. Vlasova, A. M. Skryabin // Materialy III mezhdunarodnogo simpoziuma Aktualnye problemy dozimetrii, 15 let posle Chernobylskoj katastrofy. – Minsk: Trioleta, 2001.

12. Vlasova, N. G. Konceptiya reprezentativnogo lica v sisteme radiacionnoj zashity: ot rekomendacij MKRZ k prakticheskomu primeneniyu / N. G. Vlasova // Mediko-biologicheskie problemy zhiznedeyatel'nosti. – 2020. – № 2(24). – S. 33–39.

13. Vlasova, N. G., Visenberg Yu. V., Evtushkova G. N., Drozd E. A. Ocenka doz oblucheniya naseleniya v otdalennom periode posle Chernobylskoj аварии // Problemy zdorovya i ekologii. – 2014. – № 4(42). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-doz-oblucheniya-naseleniya-v-otdalennom-periodе-posle-chernobylskoj-avarii> (data obrasheniya: 08.02.2023).

14. Avetisov, A. R. Inkorporaciya 40 K u zhitelej Lunineckogo rajona Brestskoj oblasti / A. R. Avetisov, A. N. Stozharov // Medicinskij zhurnal. – 2022. – № 3. – S. 39–43.

Поступила 23.03.2023 г.