

*А.И. Цыркунов, А.О. Шевцова*  
**ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ К-40 У ЖИТЕЛЕЙ  
ЛУНИНЕЦКОГО РАЙОНА БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ**  
*Научный руководитель: канд. мед. наук, доц. А.Р. Аветисов*  
*Кафедра радиационной медицины и экологии*  
*Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск*

*A.I. Tsyrkunov, A.O. Shevtsova*  
**FEATURES OF ACCUMULATION OF K-40 IN RESIDENTS  
LUNINETSKY DISTRICT OF THE BREST REGION**  
*Tutor: Ph.D. in Medicine, associate professor A.R. Avetisov*  
*Department of Radiation Medicine and Ecology*  
*Belarusian State Medical University, Minsk*

**Резюме.** Изучено содержание К-40 по результатам 58809 измерений СИЧ в организме лиц, проживающих на загрязненных радионуклидами территориях в период с 2016 по 2020 годы. Выявлены достоверные отличия в содержании К-40 у лиц, родившихся до и после аварии на ЧАЭС, в различных возрастных группах, а также у жителей районного центра в сравнении с другими населенными пунктами.

**Ключевые слова:** радионуклиды, СИЧ, внутреннее облучение, калий-40.

**Resume.** The content of K-40 was studied according to the results of 58809 measurements of HRS in the body of persons living in radionuclide-contaminated territories in the period from 2016 to 2020. Significant differences in the content of K-40 were revealed in persons born before and after the Chernobyl accident, in different age groups, as well as in residents of the district center in comparison with other localities.

**Keywords:** radionuclides, HRS, internal irradiation, potassium-40.

**Актуальность.** Известно, что все природные элементы находятся в окружающей среде в виде смеси изотопов и удельный вес каждого изотопа в смеси является величиной постоянной. Известно, что изотоп К-40 является неотъемлемой частью природного калия. Содержание К-40 в природной смеси изотопов калия составляет 0,0117 %. За счёт его распадов природный калий радиоактивен. Его удельная активность равна примерно 31 Бк/г [4], что позволяет довольно точно рассчитать удельное содержание калия в организме. По этой причине измерения уровня К-40 с помощью спектрометра излучений человека (СИЧ) на загрязненных радионуклидами территориях дает нам возможность изучить особенности накопления калия в организме людей, проживающих на этих территориях.

**Цель:** изучить особенности накопления К-40 у жителей Лунинецкого района Брестской области по данным СИЧ-измерений.

**Задачи:** изучить накопление К-40 по возрастным группам, индексом массы тела, различных населенных пунктах и уровнях загрязнения территории.

**Материал и методы.** Использованы данные 58809 измерений СИЧ в Лунинецком районе Брестской области за 2016-2020 годы. Предварительная обработка результатов проводилась с помощью программы MS Excel, статистическая обработка данных проводилась с помощью программы Statsoft Statistica 12. Расчет доз облучения по Cs-137 проводился согласно инструкции по применению «Метод оценки средней годовой эффективной дозы облучения жителей населенных пунктов, расположенных на территории, загрязненной радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС».

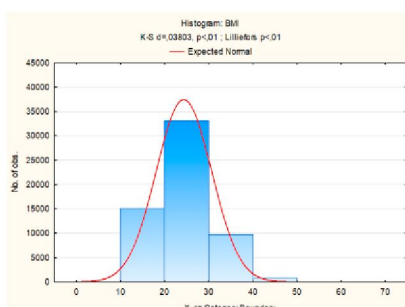
**Результаты и обсуждение.** Распределение данных по полу составило 51,4% женщин и 48,6% мужчин. Распределения по возрасту, весу, росту, индексу массы тела, активности К-40 близки к нормальному по параметрам среднего значения, медианы, асимметрии и

эксцесса (таблица 1), но их достоверность по одновыборочному тесту Колмогорова-Смирнова и Лиллиефорса оказалась недостаточной, однако в случае большого массива данных «центральная предельная теорема» статистики позволяет использовать параметрические тесты и дисперсионный анализ [1, 2].

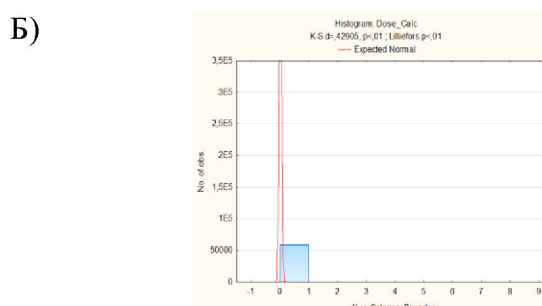
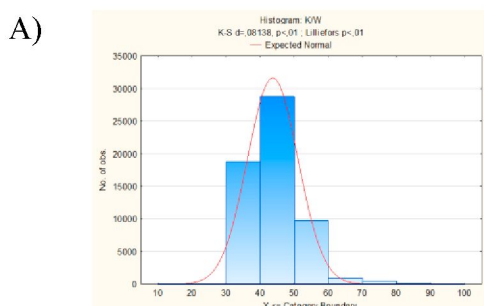
**Табл. 1.** Общая описательная статистика основных данных

Variable	Descriptive Statistics (SICH-All.sta)							
	Valid N	Mean	Median	Lower Quartile	Upper Quartile	Std.Dev.	Skewness	Kurtosis
BMI	58809	24,375	23,813	19,866	28,327	6,262	0,5863	0,41
K/W		43,711	43,190	38,394	47,854	7,42	1,2872	4,03
Dose		0,012	0,007	0,006	0,008	0,039	149,05	29566,23
K_activity		2843,828	2794,1	2194,8	3464,5	1006,798	0,4619	0,97
Cs_activity		324,404	189,9	161,8	219,3	1472,183	167,236	34645,0
Weight		66,381	68,0	53,0	81,0	22,939	-0,128	-0,07
Height		162,427	165,0	158,0	174,0	17,092	-1,5037	2,72
Ci/km2		1,229	1,17	1,17	1,17	0,648	2,3439	9,03
Age		31,644	32,0	16,0	46,0	16,903	0,0892	-1,11

Как можно видеть, среднее значение и медиана в большинстве случаев достаточно близки, но коэффициенты асимметрии распределения и эксцесс показывают, что все данные имеют признаки распределения, отличающегося от нормального. Это наиболее выражено для таких показателей, удельная активность по Cs-137 (Cs\_act) и доза внутреннего облучения, которые связаны функционально. Однако следует отметить, что однотипность распределения данных и их дисперсий позволяют нам использовать некоторые методы параметрической статистики и дисперсионного анализа. В диаграммах 1, 2 представлены распределения К-40 и Cs-137 в изучаемой популяции.



**Диагр. 1** – Графическое представление одновыборочного критерия нормальности Колмогорова-Смирнова и Лиллиефорса по индексу массы тела в изучаемой популяции



**Диагр. 2** – Тест Колмогорова-Смирнова А) Распределение К-40; Б) Распределение Cs-137

Построение частотной диаграммы позволяет более наглядно продемонстрировать неравномерность распределения данных дозы внутреннего облучения за счет Cs-137 в изучаемой популяции (диаграмма 3).



Диagr. 3 – Гистограмма распределения доз внутреннего облучения по Cs-137

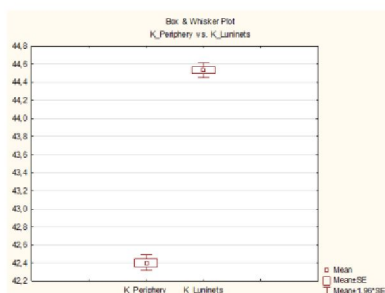
Выявлено, что уровень K-40 в организме жителей Лунинца достоверно выше на 4,72%, ( $p < 0,01$ ) чем у жителей района вне Лунинца. Средний возраст жителей Лунинца также отличается от жителей района (28 и 37 лет соответственно,  $p < 0,01$ ).

В таблице 2 представлены результаты сравнения удельного содержание K-40 в Лунинце и населенных пунктах вне районного центра.

Табл. 2. Удельное содержание калия-40 в Лунинце и других населенных пунктах

Group 1 vs. Group 2	T-test for Independent Samples (SICH-All.sta) Note: Variables were treated as independent samples										
	Mean Group		t-value	df	p	Valid N		Std.Dev.		F-ratio	p
	1	2				Group 1	Group 2	Group 1	Group 2		
K_Periphery vs. K Luninets	42,404	44,534	-34,22	588	0	22701	36078	6,717	7,719	1,321	0

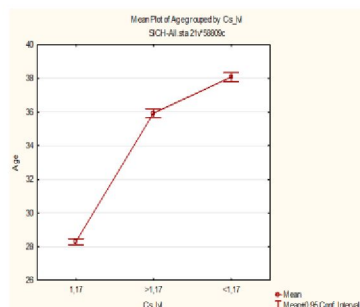
Как видно, уровень удельного содержания K-40 в организме жителей Лунинца достоверно выше, чем на периферии района. У жителей района удельное содержание K-40 в организме составляет 95,28% от жителей Лунинца с достоверностью  $p < 0,01$ . Представленные различия хорошо заметны на ящичной диаграмме (диаграмма 4).



Диagr. 4 – Данные об удельном содержании калия-40 у жителей Лунинца в сравнении с жителями других населенных пунктов района

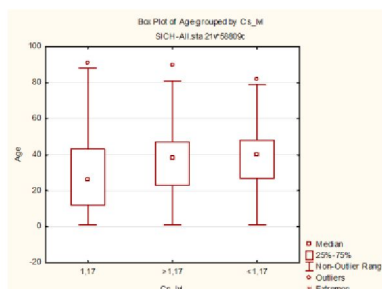
Наиболее простое объяснение следует вероятно искать в двух фактах: во-первых, удельное содержание K-40 предельно точно отражает содержание стабильного калия в организме человека, а во-вторых, уровень калия в организме является зависимым от возраста [4]. При анализе среднего возраста лиц, проживающих в различных населенных пунктах, мы обнаружили, что Луинец – относительно молодой город со средним возрастом 28 лет. В других населенных пунктах в целом он составляет 37 лет. Причём на территориях

менее 1,17 Ки/км<sup>2</sup> он составляет 38 лет, а на территориях выше 1,17 Ки/км<sup>2</sup> – 36 лет (диаграмма 5).



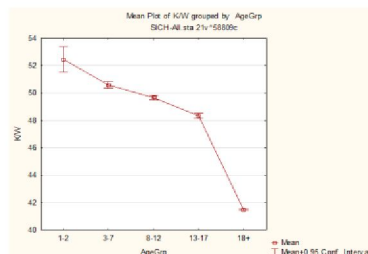
Диagr. 5 – Зависимость загрязненности н. пунктов и возраста жителей этих территорий

Аналогична, хоть и менее наглядна, эта же тенденция видна при анализе медианных значений среднего возраста (диаграмма 6).



Диagr. 6 – Распределение возрастных групп в зависимости от загрязненности территорий их проживания цезием-137

Далее нами было изучено удельное содержание К-40 в различных возрастных группах в соответствии с рекомендациями НКДАР ООН: 1 год (возраст в от 1 до 2 лет), 5 лет (от 3 до 7 лет), 10 лет (от 8 до 12 лет), 15 лет (от 13 до 17 лет) и взрослые (старше 17 лет). Однофакторный дисперсионный анализ выявил достоверные ( $p < 0,01$ ) отличия в перечисленных группах. Данные распределения удельного содержания К-40 в различных возрастных группах представлены на диаграмме 7.



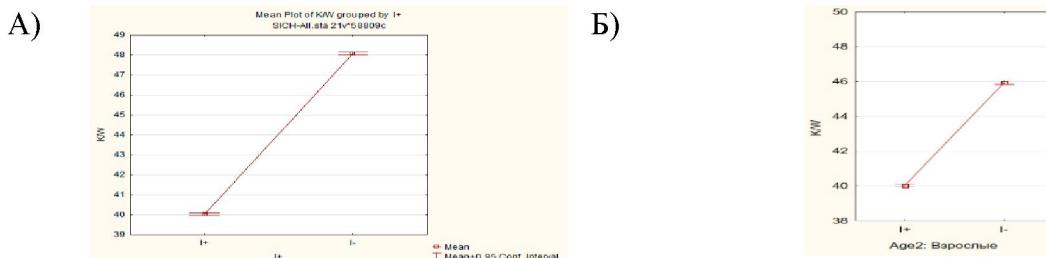
Диagr. 7 – Зависимость концентрации калия-40 от возрастных групп

Из диаграммы выше видно, что с возрастом калий прогрессивно снижается, причем в группе взрослых лиц это снижение наиболее заметно.

Нами также обнаружено, что у лиц, переживших аварию (группа I+) уровень К-40 в 1,2 раза меньше, чем у лиц, родившихся после аварии на ЧАЭС, что полностью соотносится с предыдущим графиком, показывающим уменьшение К-40 с возрастом. Для подтверждения этой тенденции нами было изучено содержание К-40 в организме только взрослых лиц. В этом случае также обнаружено достоверное отличие в удельном содержании К-40. В группе взрослых лиц, родившихся после аварии на ЧАЭС, уровень К-



40 в организме оказался в 1,15 раз выше ( $p < 0,01$ ), чем у проживавших в районе на момент аварии (диаграмма 8).



**Диagr. 8** – Удельная активность в организме К-40 А) у населения, родившегося до и после аварии на ЧАЭС; Б) только взрослых лиц, родившихся до и после аварии на ЧАЭС

Анализ связи между удельной активностью К-40 и возрастом методом корреляционного анализа показал наличие достоверной довольно существенной отрицательной связи между ними ( $r = - 0,59$ ;  $p < 0,01$ ). Таким образом, представленные результаты подтверждают сделанные выше предварительные выводы о возраст-зависимых изменениях К-40.

Известно, что калий и цезий испытывают конкурентные отношения при переходе из окружающей среды в растения и при поступлении через ЖКТ человека с продуктами питания. Поэтому нами была сделана попытка нахождения связи между содержанием Cs-137 и К-40 в изучаемой популяции. Удельная активность К-40 в организме изученных лиц и доза облучения Cs-137, которая является функцией её удельной активности, показала отсутствие достоверной связи между ними, как во всех данных в целом, так и по отдельным группам (возраст, пол, ИМТ, место проживания). Однако между абсолютными значениями активности К-40 и Cs-137 обнаружена слабая, но достоверная корреляция ( $r = 0,075$ ;  $p < 0,05$ ). Еще более интересным оказался факт такой связи по отдельным возрастным группам. Так, у детей в целом положительная корреляция была в 1,98 раз выше, чем у взрослых (0,135 и 0,068 соответственно). Максимальный коэффициент ( $r = 0,224$ ) соответствовал возрасту детей до 2 лет. Отсюда можно сделать предварительный вывод о том, что поступление цезия и калия в организм максимально связаны в детском возрасте и эта связь уменьшается с возрастом.

#### **Выводы:**

1. Удельная активность К-40 в организме лиц, проживающих на загрязненных Cs-137 территориях, достоверно снижается с возрастом.
2. У взрослых лиц, родившихся после аварии на ЧАЭС, отмечается достоверно большая удельная активность К-40, чем у переживших катастрофу, что не противоречит предыдущему выводу.
3. Принцип конкурентного замещения между цезия калием следует наиболее активно применять в детском возрасте, когда корреляция между этими элементами максимальна.

#### **Литература**

1. Гнеденко, Б. В. Курс теории вероятностей / Б. В. Гнеденко. – 11-е изд. – М. : Наука, 2010. – 448 с.
2. Сенатов, В. В. Центральная предельная теорема: точность аппроксимации и асимптотические разложения / В. В. Сенатов. – М. : Либроком, 2009. – 350 с.
3. The Nubase 2016 evaluation of nuclear properties / G. Audi, F. G. Kondev, M. Huang [et al.] // Chinese Physics C. – 2017. – № 3. – Vol. 41. – P. 1-138.
4. Patrick, J. Assessment of body potassium stores / J. Patrick. – Kidney International. – 1977. – Vol. 11. – P. 476-490.