

А.И. Цыркунов, А.О. Шевцова
**СПЕЦИФИКА 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: PhD, 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.

Материалы 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

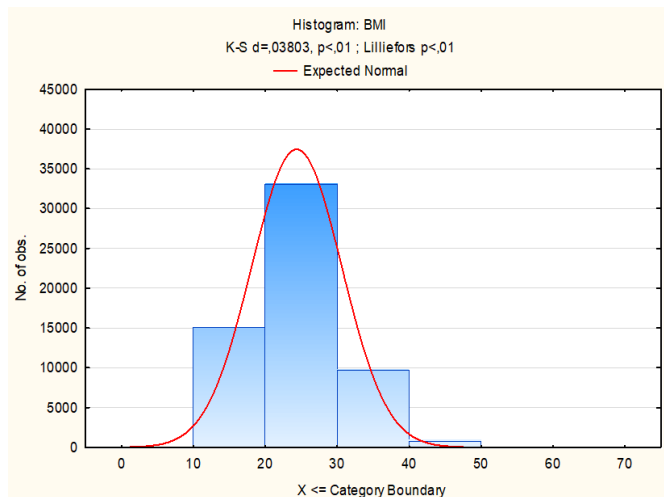
оценки средней годовой эффективной дозы облучения жителей населенных пунктов, расположенных на территории, загрязненной радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС».

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

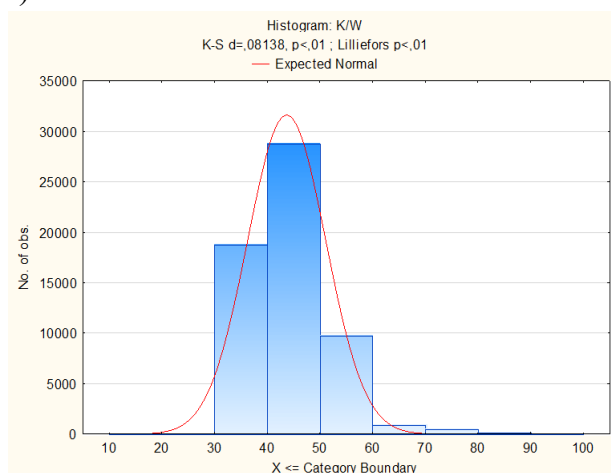
Variable	Descriptive Statistics (SICH-All.sta)							
	Valid N	Mean	Median	Lower Quartile	Upper Quartile	Std.Dev.	Skewness	Kurtosis
BMI	58809	24,375	23,813	19,866	28,327	6,262	0,5863	0,41
K/W		43,711	43,190	38,394	47,854	7,42	1,2872	4,03
Dose		0,012	0,007	0,006	0,008	0,039	149,05	29566,23
K_activity		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.

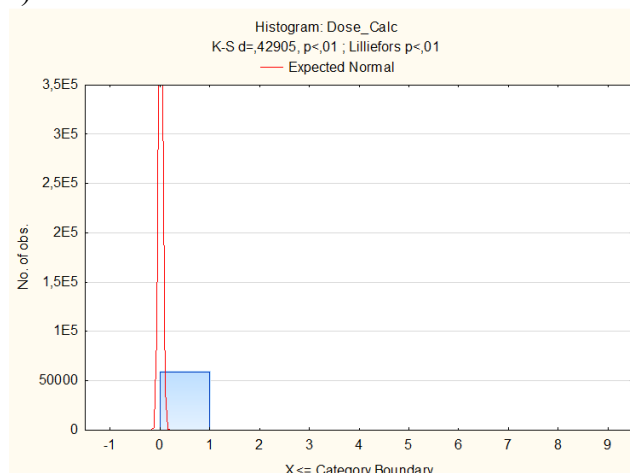


Диagr. 1 – Графическое представление одновыборочного критерия нормальности Колмогорова-Смирнова и Лиллиефорса по индексу массы тела в изучаемой популяции

А)



Б)



Диagr. 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

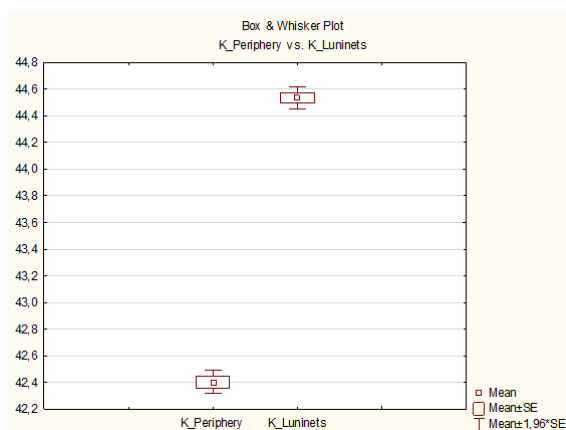
Выявлено, что уровень К-40 в организме жителей Лунинца достоверно выше на 4,72%, ($p < 0,01$) чем у жителей района вне Лунинца. Средний возраст жителей Лунинца также отличается от жителей района (28 и 37 лет соответственно, $p < 0,01$).

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

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

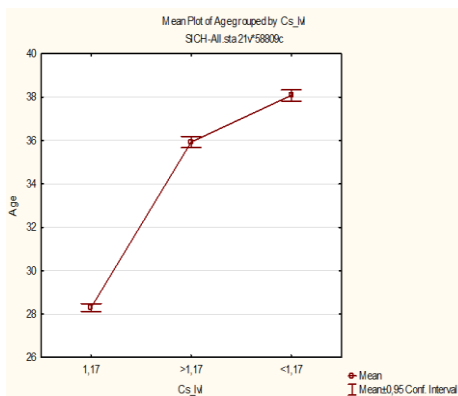
Group 1 vs. Group 2	T-test for Independent Samples (SICH-All.sta) Note: Variables were treated as independent samples										
	Mean Group		t-value	df	p	Valid N		Std.Dev.		F-ratio	p
	1	2				Group 1	Group 2	Group 1	Group 2		
K_Periphery vs. K_Luninets	42,404	44,534	-34,22	588	0	22701	36078	6,717	7,719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

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



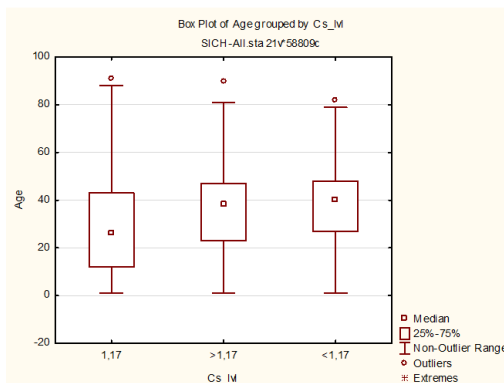
Диагр. 4 – Данные об удельном содержании калия-40 у жителей Лунинца в сравнении с жителями других населенных пунктов района

Наиболее простое объяснение следует вероятно искать в двух фактах: во-первых, удельное содержание К-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 Лунинец – 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/км² он составляет 38 лет, а на территориях выше 1,17 Ки/км² – 36 лет (диаграмма 5).



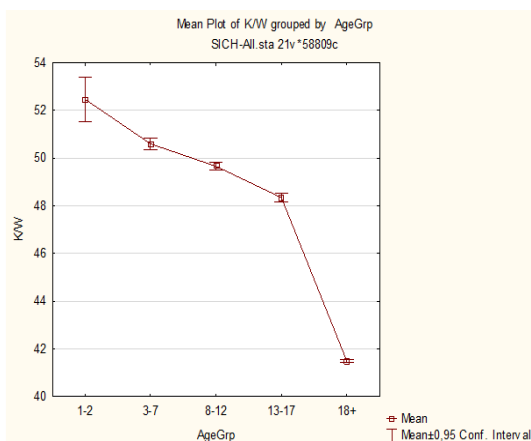
Диагр. 5 – Зависимость загрязненности н. пунктов и возраста жителей этих территорий

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



Диагр. 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.

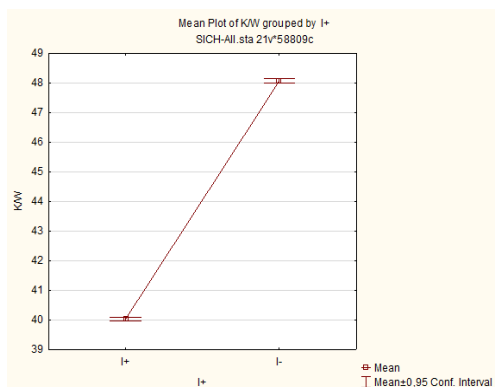


Диагр. 7 – Зависимость концентрации калия-40 от возрастных групп

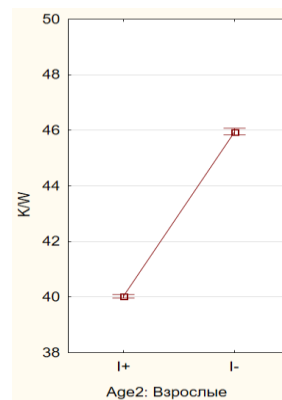
Из диаграммы выше видно, что с возрастом калий прогрессивно снижается, причем в группе взрослых лиц это снижение наиболее заметно.

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).

А)



Б)



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.