

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ К-40 У ЖИТЕЛЕЙ ЛУНИНЕЦКОГО РАЙОНА БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ

Цыркунов А.И., Шевцова А.О., Аветисов А.Р.

*Белорусский государственный медицинский университет,
кафедра радиационной медицины и экологии, г. Минск*

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

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.

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.

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 [1], 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 [2, 3].

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 (рисунки 1, 2, 3) представлены распределения K-40 и Cs-137 в изучаемой популяции.

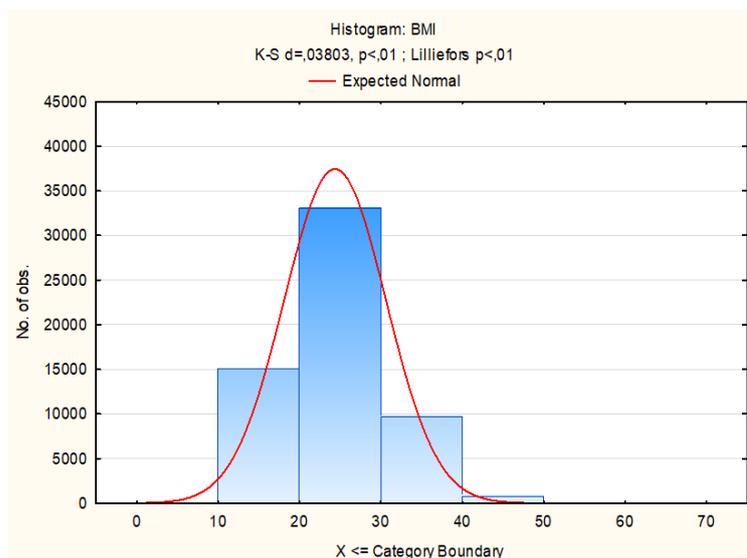


Рис. 1 – Графическое представление одновыборочного критерия нормальности Колмогорова-Смирнова и Лилиефорса по индексу массы тела в изучаемой популяции

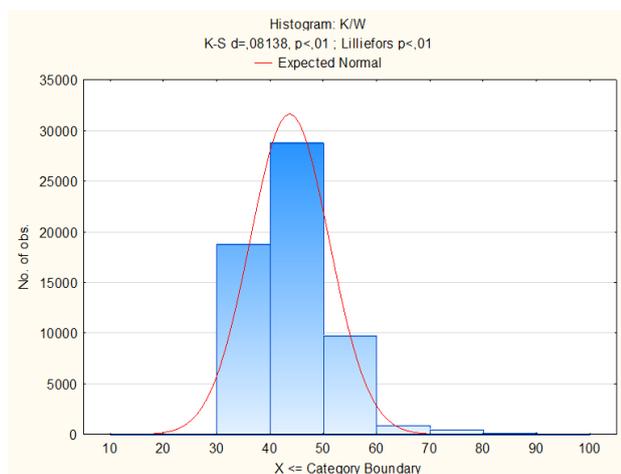


Рис. 2 – Распределение К-40 (тест Колмогорова-Смирнова)

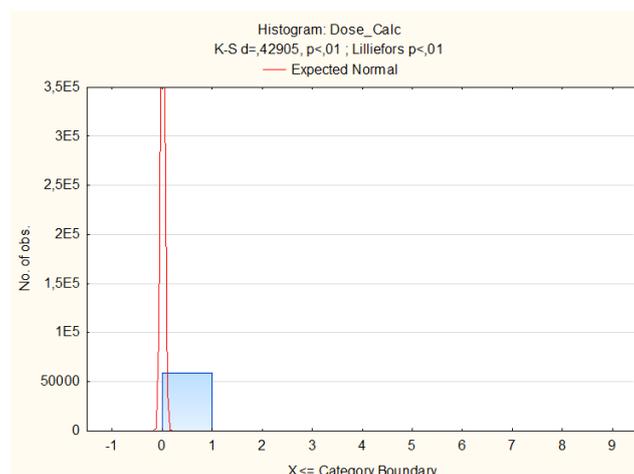


Рис. 3 – Распределение Cs-137 (тест Колмогорова-Смирнова)

Построение частотной диаграммы позволяет более наглядно продемонстрировать неравномерность распределения данных дозы внутреннего облучения за счет Cs-137 в изучаемой популяции (рисунок 4).



Рис. 4 – 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 (рисунок 5).

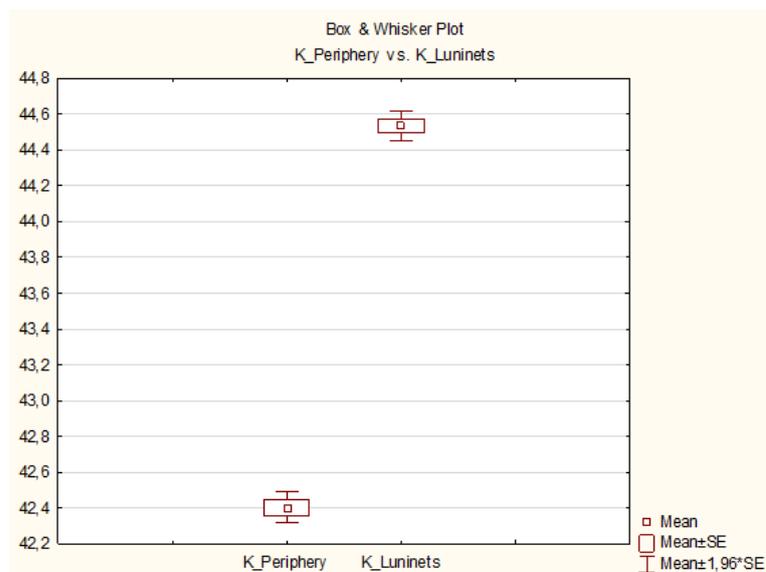


Рис. 5 – Данные об удельном содержании калия-40 у жителей Лунинца в сравнении с жителями других населенных пунктов района

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 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/км² он составляет 38 лет, а на территориях выше 1,17 Ки/км² – 36 лет (рисунок 6).

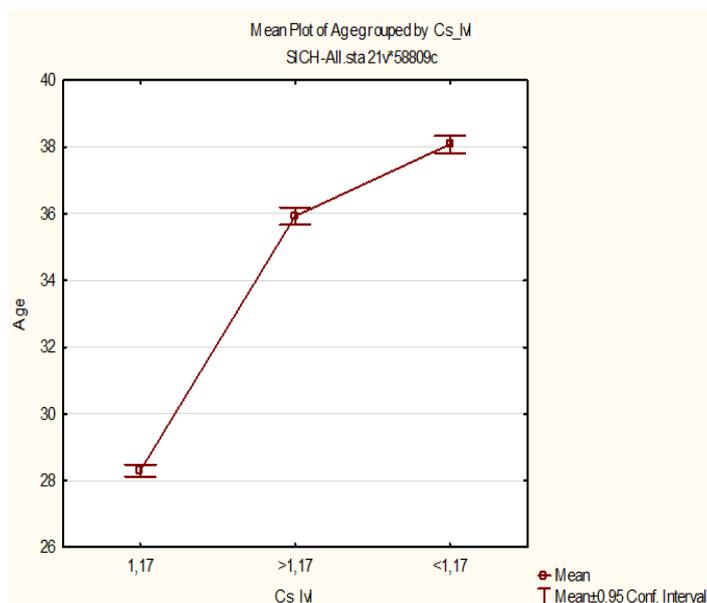


Рис. 6 – Зависимость загрязненности н. пунктов и возраста жителей этих территорий

Аналогична, хоть и менее наглядна, эта же тенденция видна при анализе медианных значений среднего возраста (рисунок 7).

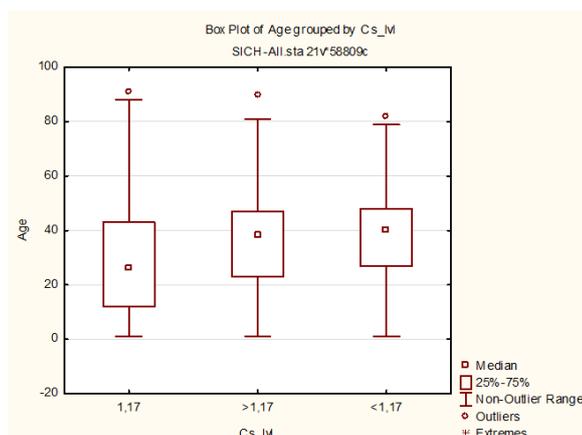


Рис. 7 – Распределение возрастных групп в зависимости от загрязненности территорий их проживания цезием-137

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 рисунке 8.

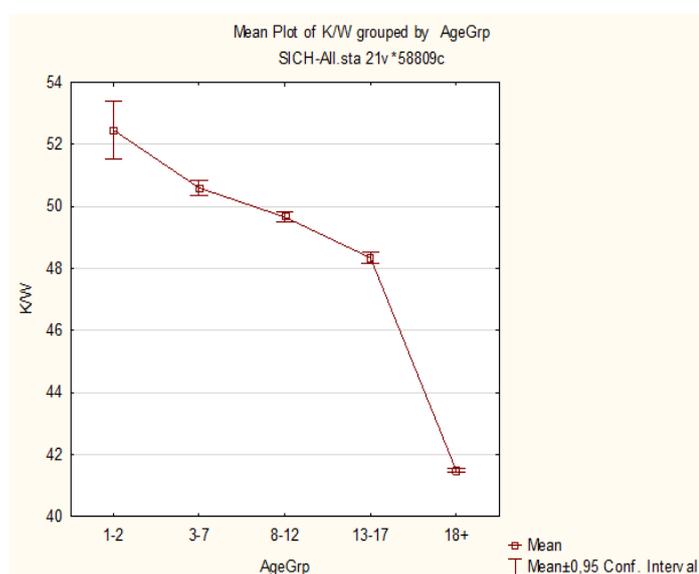


Рис. 8 – Зависимость концентрации калия-40 от возрастных групп

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 (рисунки 9, 10).

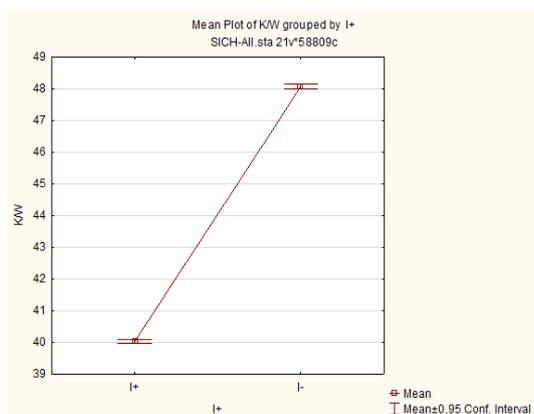


Рис. 9 – Удельная активность К-40 у населения, родившегося до и после аварии на ЧАЭС, родившихся до аварии и после нее

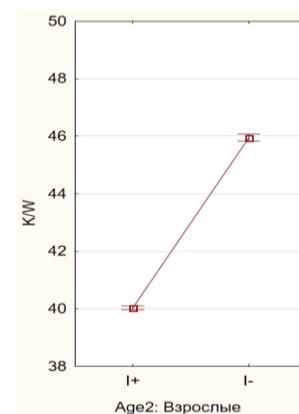


Рис. 10 – Удельная активность К-40 в организме только взрослых лиц, родившихся до и после аварии на ЧАЭС

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. 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.
2. Сенатов, В. В. Центральная предельная теорема: точность аппроксимации и асимптотические разложения / В. В. Сенатов. – М. : Либроком, 2009. – 350 с.
3. Гнеденко, Б. В. Курс теории вероятностей / Б. В. Гнеденко. – 11-е изд. – М. : Наука, 2010. – 448 с.
4. Patrick, J. Assessment of body potassium stores / J. Patrick. – Kidney International. – 1977. – Vol. 11. – P. 476-490.