

А. Р. Аветисов, А. Н. Стожаров

ИНКОРПОРАЦИЯ ^{40}K У ЖИТЕЛЕЙ ЛУНИНЕЦКОГО РАЙОНА БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ

УО «Белорусский государственный медицинский университет»

Изучена инкорпорация ^{40}K в организме жителей Лунинецкого района Брестской области по результатам 58809 измерений на спектрометре излучений человека за период с 2016 по 2020 годы. Установлены достоверные различия в удельном содержании калия в тканях организма по таким критериям, как место жительства, проживание на момент аварии на ЧАЭС, возраст, пол. Из них наиболее значимыми и определяющими признаны возраст и пол. Созданы линейные регрессионные модели, описывающие накопление ^{40}K в организме жителей района в зависимости от возраста и пола. Обнаружено, что моделирование возрастзависимого содержания ^{40}K показывает лучшие результаты при предварительном разделении популяции по гендерному признаку.

Ключевые слова: калий, возраст, пол, моделирование.

A. R. Avetisov, A. N. Stojarov

^{40}K INCORPORATION IN RESIDENTS OF LUNINETSKEY DISTRICT OF BREST REGION

The incorporation of ^{40}K in the body of residents of the Luninets district of the Brest region was studied based on the results of 58809 measurements on a human radiation spectrometer for the period from 2016 to 2020. Significant differences were established in the specific content of potassium in body tissues according to such criteria as place of residence, residence at the time of the Chernobyl accident, age, gender. Of these, age and gender are recognized as the most significant and determining. Linear regression models have been created that describe the accumulation of ^{40}K in the body of residents of the area, depending on age and gender. It was found that modeling the age-dependent content of ^{40}K shows the best results with a preliminary separation of the population by gender.

Key words: potassium, age, gender, modeling.

Известно, что элементы земной коры входят в виде смеси изотопов. При этом удельный вес каждого изотопа в смеси является величиной достаточно постоянной. По этой же причине изотоп ^{40}K является неотъемлемой и устойчивой частью природной смеси изотопов калия, а его содержание в этой смеси составляет 0,0117 % [4]. Удельная активность природной смеси изотопов калия оценивается примерно в 31 Бк/г, что позволяет при необходимости довольно точно рассчитать удельное содержание калия в тканях организма, если известно содержание радиоактивного изотопа. Его содержание в тканях организма в целом, а не только в сыворотке крови важно по многим причинам, из которых наиболее значимыми являются проблемы, относящиеся к кар-

диологии, а точнее эндотелиальной дисфункции, которая, как оказалось, тесно связана с удельным содержанием калия в организме человека [5].

Измерения активности ^{40}K с помощью спектрометра излучений человека (СИЧ) дает уникальную возможность для изучения особенностей распределения и накопления калия в тканях организма, а также возможность подбора математической модели, представляющей его динамику в организме человека. В связи с этим нами была предпринята попытка изучения распределения ^{40}K в тканях организма человека на загрязненных радионуклидами территориях.

Цель: изучить особенности накопления ^{40}K у жителей Лунинецкого района Брестской области по данным СИЧ-измерений.

Задачи: изучить зависимость накопления ^{40}K в зависимости от возраста, пола, места жительства, уровня загрязнения территории.

Материалы и методы. Использованы данные более 58 000 измерений СИЧ в Лунинецком районе за 2016–2020 годы. Математическая обработка результатов проводилась с помощью программы MS Excel, статистическая обработка проводилась с помощью программы Statsoft Statistica 12 и OriginPro 2018.

Результаты и обсуждение. Распределение данных по полу в измерениях составило 51,4 % для женщин и 48,6 % для мужчин. Распределения по возрасту, весу, росту, активности ^{40}K близки к нормальному (табл. 1, рис. 1), но их достоверность по одновыборочному тесту Колмогорова-Смирнова и Лиллиефорса оказалась недостаточной. Из таблицы 1 видно, что для большинства параметров значения среднего и медианы близки, но не совпадают, что также указывает на возможные отклонения от нормального распределения данных. Аналогичная картина наблюдается

и при проверке выборки на нормальность распределения в измерениях внутри изучаемых отдельных групп населения. Однако при большом массиве данных, исчисляемых десятками тысяч измерений, «центральная предельная теорема» статистики позволяет использовать параметрические тесты и дисперсионный анализ для выявления статистически значимых различий [1, 2].

На первом этапе исследования нами было выявлено, что удельное содержание ^{40}K в организме жителей Лунинца достоверно выше на 4,72%, ($p < 0,01$) в сравнении с жителями района вне районного центра. При этом средний возраст жителей Лунинца оказался достоверно ниже, чем у жителей района (28,3 года и 36,9 лет соответственно, $p < 0,01$).

В таблице 2 и на рисунке 2 представлены результаты сравнения удельного содержания ^{40}K у жителей Лунинца и населенных пунктах вне районного центра.

Литературные данные показывают, что уровень калия в организме является зависимым от возраста [3]. При анализе среднего возраста

Таблица 1. Описательная статистика основных данных

Показатель	Описательная статистика					
	число n	среднее \bar{x}	стандартное отклонение	медиана	нижний квартиль	верхний квартиль
Возраст (лет)	58809	31.644	16.903	32.000	16.000	46.000
Рост (см)	58809	162.427	17.092	165.000	158.000	174.000
Вес (кг)	58809	66.381	22.939	68.000	53.000	81.000
Активность ^{40}K (Бк)	58809	2843.828	1006.798	2794.100	2194.800	3464.500
Удельная активность ^{40}K (Бк/кг)*	58809	43.711	7.420	43.190	38.394	47.854

* Удельное содержание ^{40}K в Бк/кг рассчитывалось путем деления измеренной активности ^{40}K на показатель массы тела.

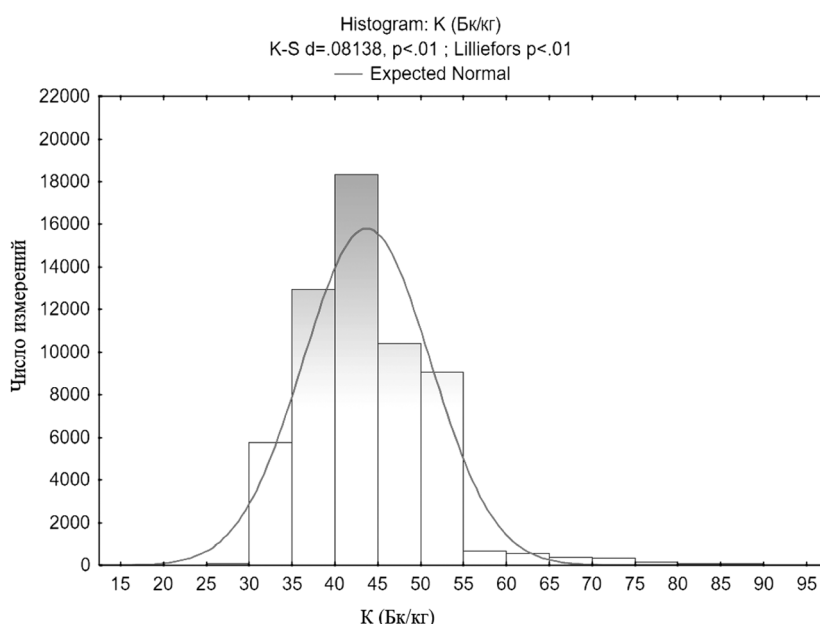


Рисунок 1. Распределение значений удельного содержания ^{40}K (Бк/кг)

Таблица 2. Удельное содержание ^{40}K у жителей Лунинца (1) и жителей района вне районного центра (2)

Показатель	Тест Колмогорова-Смирнова для Лунинца (1) и района (2)				
	p	среднее (1)	среднее (2)	std. откл. (1)	std. откл. (2)
К (Бк/кг)	$p < 0,01$	44,534	42,404	7,719	6,716

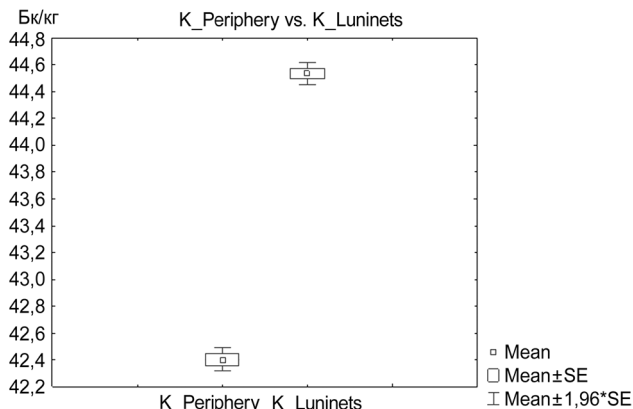


Рис. 2. Удельное содержание ^{40}K (Бк/кг) у жителей Лунинца (K_Luninets) в сравнении с жителями района (K_Periphery)

лиц, проживающих в различных населенных пунктах обнаружено, что Луинец является относительно молодым городом в сравнении с населенными пунктами района в целом. Разница в показателях среднего возраста между районным центром и населенными пунктами за его пределами составляет 8,6 лет. При этом на территориях с плотностью загрязнения по ^{137}Cs менее $43,3 \text{ Бк/м}^2$ он составляет 38,08 лет, а на территориях с плотностью загрязнения по ^{137}Cs выше $43,3 \text{ Бк/м}^2$ он несколько ниже и составляет 35,93 лет (рис. 3). Следовательно, в первом приближении можно сделать предположение о том, что более высокое

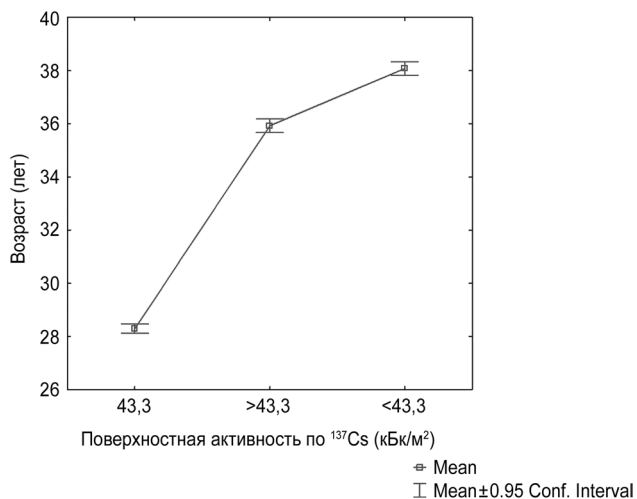


Рис. 3. Средний возраст лиц, проживающих на территориях с различной плотностью загрязнения по ^{137}Cs в кБк/м^2 ($43,3 \text{ кБк/м}^2$ соответствует Луинцу)

удельное содержание калия в тканях организма жителей Лунинца может быть связано преимущественно с возрастом населения. При этом не исключаются возможности зависимости удельной активности ^{40}K с другими факторами, существенно влияющими на его содержание в тканях организма.

На следующем этапе нами было изучено удельное содержание ^{40}K в различных возрастных группах, которые мы сформировали в соответствии с рекомендациями Научного комитета ООН по действию атомной радиации (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 ^{40}K в различных возрастных группах представлены на рисунке 4.

На представленном рисунке можно заметить, что с увеличением возраста удельное содержание калия в тканях организма прогрессивно снижается, причем в группе взрослых лиц это снижение наиболее заметно и значимо. Нами также обнаружено, что у лиц, проживавших на момент аварии в Луинецком районе, удельное содержание ^{40}K в тканях организма достоверно ниже в 1,2 раза, чем у лиц, родившихся после аварии на ЧАЭС, т. е. не получивших как «йодный удар», так и относительно большие дозы облучения от других источников кратковременного облучения (рис. 5).

Выявленные существенные и достоверные различия в удельном содержании ^{40}K в тканях организма позволяют предположить, что высокие дозы облучения в 1986 году в результате аварии повлияли в отдаленной перспективе на содержание

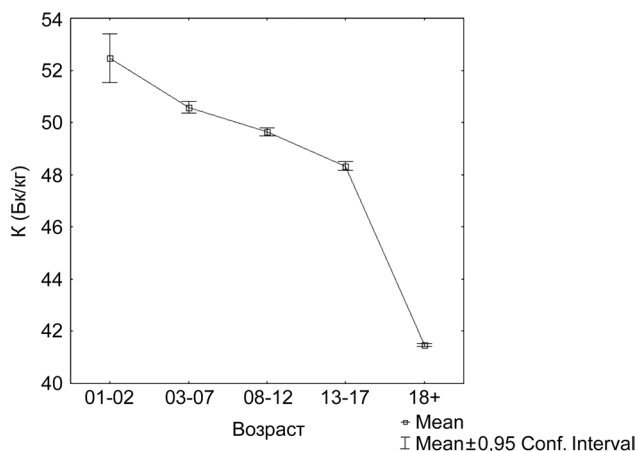


Рис. 4. Зависимость удельного содержания калия (Бк/кг) в зависимости от возрастных групп по классификации НКДАР ООН

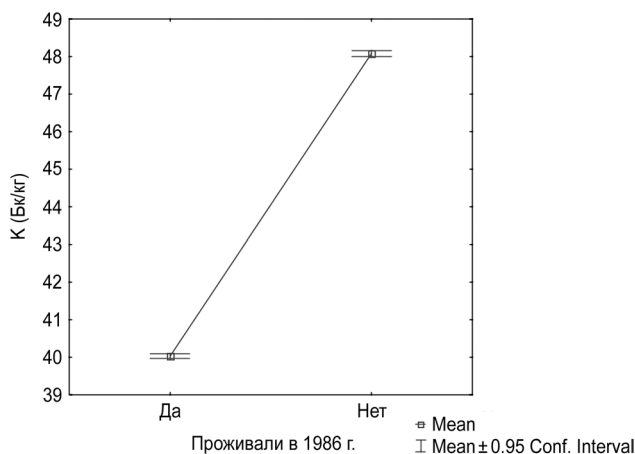


Рис. 5. Удельная активность ⁴⁰К (Бк/кг) у лиц, получивших (группа «Да») и не получивших (группа «Нет») облучение в 1986 году в результате аварии на ЧАЭС

калия в организме. Но можно заметить, что полученные результаты полностью соотносятся с предыдущим графиком, показывающим уменьшение ⁴⁰К с возрастом, т. к. лица, проживавшие в 1986 году на территории Лунинецкого района на по состоянию на настоящее время значительно старше популяции в целом. Для подтверждения этой гипотезы нами было изучено содержание ⁴⁰К в организме только взрослых лиц. В этом случае также обнаружены достоверные различия. Выявлено, что в группе взрослых лиц, родившихся после аварии на ЧАЭС, уровень ⁴⁰К в организме оказался в 1,15 раз выше ($p < 0,01$), чем у проживавших в районе на момент аварии. Из перечисленных фактов следует, что определяющим фактором, влияющим на удельное содержание

калия в тканях организма, является именно возраст, а не факт облучения в 1986 году.

С целью подтверждения изложенной гипотезы и выявления величины связи между возрастом и удельным содержанием калия нами был проведен корреляционный анализ.

Анализ связи между удельной активностью ⁴⁰К и возрастом методом корреляционного анализа выявил наличие достоверной и значимой отрицательной корреляции ($r = -0,59$; $p < 0,01$), что позволило нам подтвердить наличие значимой и ведущей роли возраста в отличии от уровня облучения населения, рассмотренных нами ранее (рис. 3).

Последующий регрессионный анализ показал, что связь между возрастом и содержанием калия в организме можно выразить линейно с использованием стандартной математической модели линейной регрессии типа $y = a + bx$ (рис. 6).

В результате регрессионного анализа всей популяции в целом формула линейной регрессии приобрела следующий вид:

$$^{40}\text{K}(\text{Бк/кг}) = 52,05 - 0,266 * \text{Age}, (r = -0,605).$$

При анализе мужской популяции уравнение линейной регрессии немного видоизменилось и приобрело следующий вид:

$$^{40}\text{K}(\text{Бк/кг}) = 56,3 - 0,271 * \text{Age}, (r = -0,749).$$

При анализе женской популяции уравнение регрессии также отличалась от популяции в целом:

$$^{40}\text{K}(\text{Бк/кг}) = 48,39 - 0,266 * \text{Age}, (r = -0,661).$$

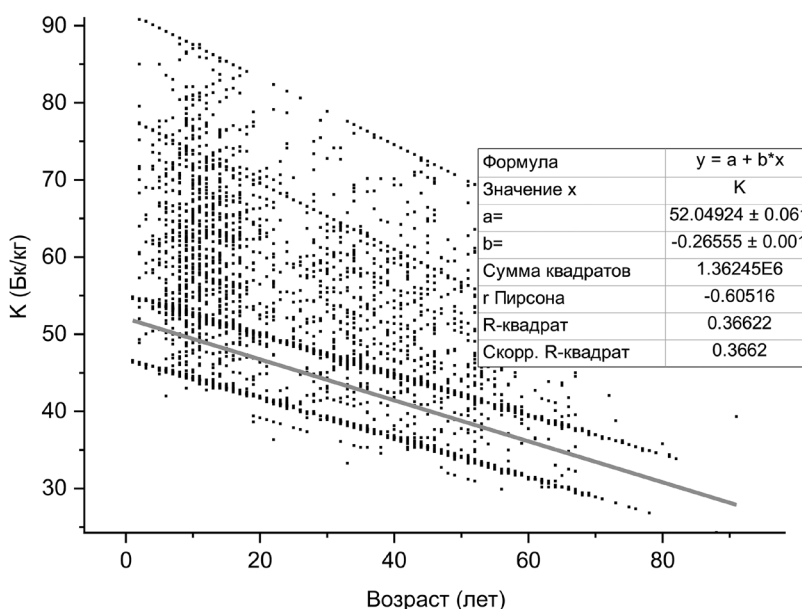


Рис. 6. График линейной регрессии между возрастом и удельным содержанием ⁴⁰К (Бк/кг) в тканях жителей Лунинецкого района

Учитывая тот факт, что значение «r» Пирсона у мужчин и у женщин оказалось выше, чем в популяции в целом, в математических моделях, описывающих содержание ^{40}K в тканях жителей загрязненных радионуклидами территорий, следует использовать гендерные различия, т. е. учитывать разницу в зависимых от возраста моделях для мужчин и женщин отдельно.

Выводы

1. Содержание ^{40}K в тканях жителей Лунинецкого района зависит от возраста и описывается линейной регрессией вида $y = a + bx$.

2. Содержание ^{40}K зависит от пола, что желательно учитывать в соответствующих математических моделях и в дальнейших исследованиях.

3. Данные СИЧ-радиометрии позволяют оценивать удельное содержание калия в тканях, а не только в сыворотке крови, что можно использовать в широкой медицинской практике.

Литература

1. Сенатов, В. В. Центральная предельная теорема. Точность аппроксимации и асимптотические разложения / В. В. Сенатов. – М.: URSS, 2018. – 350 с.

2. Kwak, S. G. Central limit theorem: the cornerstone of modern statistics / S. G. Kwak, J. H. Kim // Korean J Anesthesiol. – 2017. – Т. 70, № 2. – С. 144-156.

3. Patrick, J. Assessment of body potassium stores / J. Patrick // Kidney Int. – 1977. – Т. 11, № 6. – С. 476-490.

4. The NUBASE2016 evaluation of nuclear properties / G. Audi [et al.] // Chinese Phys. C. – 2017. – Vol. 41, № 3. – P. 030001.

5. Ying, W.-Z. Effect of Aging and Dietary Salt and Potassium Intake on Endothelial PTEN (Phosphatase and Tensin Homolog on Chromosome 10) Function / W.-Z. Ying, K. J. Aaron, P. W. Sanders // PLoS ONE. – 2012. – Vol. 7, № 11. – P. e48715.

References

1. Senatov, V. V. Central`naia predel`naia teorema. Tochnost` approksimacii i asimptoticheskie razlozheniia / V. V. Senatov. – M.: URSS, 2018. – 350 p.

2. Kwak, S. G. Central limit theorem: the cornerstone of modern statistics / S. G. Kwak, J. H. Kim // Korean J Anesthesiol. – 2017. – Т. 70, № 2. – С. 144-156.

3. Patrick, J. Assessment of body potassium stores / J. Patrick // Kidney Int. – 1977. – Т. 11, № 6. – С. 476-490.

4. The NUBASE2016 evaluation of nuclear properties / G. Audi [et al.] // Chinese Phys. C. – 2017. – Vol. 41, № 3. – P. 030001.

5. Ying, W.-Z. Effect of Aging and Dietary Salt and Potassium Intake on Endothelial PTEN (Phosphatase and Tensin Homolog on Chromosome 10) Function / W.-Z. Ying, K. J. Aaron, P. W. Sanders // PLoS ONE. – 2012. – Vol. 7, № 11. – P. e48715.

Поступила 31.05.2022 г.