

Д.Е. Калинин<sup>1,2</sup>, И.В. Мильто<sup>1,2</sup>, Л.В. Смаглий<sup>1,2</sup>, Г.В. Горина<sup>1</sup>,  
О.В. Литвинова<sup>1</sup>, Ю.А. Самойлова<sup>3</sup>, В.А. Авхименко<sup>3</sup>, Р.М. Тахауов<sup>1,2</sup>

## ХАРАКТЕРИСТИКА УРАНОВОЙ КОГОРТЫ ПЕРСОНАЛА РАДИОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА СИБИРСКОГО ХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

<sup>1</sup> Северский биофизический научный центр ФМБА России, Северск

<sup>2</sup> Сибирский государственный медицинский университет Минздрава России, Томск

<sup>3</sup> Сибирский федеральный научно-клинический центр ФМБА России, Северск

Контактное лицо: Дмитрий Евгеньевич Калинин, e-mail: mail@sbrs.seversk.ru, kalinkin750@gmail.com

### РЕФЕРАТ

**Введение:** Уран, являющийся основным сырьевым элементом в ядерной энергетике, создаёт риск неблагоприятных воздействий на персонал, с ним контактирующий.

В целях изучения медико-биологических последствий воздействия соединений урана на организм персонала объектов использования атомной энергии требуется создание когорт лиц, занятых в работах с данным радионуклидом.

**Цель исследования:** Сформировать и описать когорту персонала радиохимического производства Сибирского химического комбината, задействованного в работе с ураном с 1953 по 2000 гг.

**Материал и методы:** Когорта сформирована на основании сведений медико-дозиметрического регистра, содержащего информацию относительно всех работников (действующих и бывших) Сибирского химического комбината (около 65 тыс. чел.).

**Результаты:** Создана и охарактеризована когорта персонала радиохимического производства Сибирского химического комбината, задействованного в обращении с соединениями урана с 1953 по 2000 гг. В когорту включены 205 чел. (151 мужчина и 54 женщины). Медицинская и дозиметрическая информация о лицах, включённых в когорту, внесена в созданную базу данных персонала Сибирского химического комбината, задействованного в работе с соединениями урана с 1953 по 2000 гг.

**Заключение:** Сформированная когорта работников радиохимического производства Сибирского химического комбината позволит изучать стохастические эффекты воздействия урана на организм работников, контактирующих в рамках своей профессиональной деятельности с соединениями урана (в частности, онкологическую заболеваемость и смертность), и делать научно обоснованные выводы относительно роли этого радионуклида в возникновении социально значимых неинфекционных заболеваний, прежде всего злокачественных новообразований.

**Ключевые слова:** соединения урана, персонал радиохимического производства, профессиональные заболевания

**Для цитирования:** Калинин Д.Е., Мильто И.В., Смаглий Л.В., Горина Г.В., Литвинова О.В., Самойлова Ю.А., Авхименко В.А., Тахауов Р.М. Характеристика урановой когорты персонала радиохимического производства Сибирского химического комбината // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2025. Т. 70. № 2. С. 71–74. DOI:10.33266/1024-6177-2025-70-2-71-74

D.E. Kalinkin<sup>1,2</sup>, I.V. Milto<sup>1,2</sup>, L.V. Smaglyi<sup>1,2</sup>, G.V. Gorina<sup>1</sup>,  
O.V. Litvinova<sup>1</sup>, Yu.A. Samoilova<sup>3</sup>, V.A. Avkhimenko<sup>3</sup>, R.M. Takhauov<sup>1,2</sup>

## Characteristics of the Uranium Cohort of Personnel of the Radiochemical Production of the Siberian Chemical Plant

<sup>1</sup> Seversk Biophysical Research Center, Seversk, Russia

<sup>2</sup> Siberian State Medical University, Tomsk, Russia

<sup>3</sup> Siberian Federal Scientific Clinical Center, Seversk, Russia

Contact person: D.E. Kalinkin, e-mail: mail@sbrs.seversk.ru, kalinkin750@gmail.com

### ABSTRACT

**Introduction:** Professional contact with uranium, which is the main raw material element in nuclear power, creates a risk of adverse effects for personnel in contact with it.

In order to study the effects of uranium compounds on the body of personnel at nuclear facilities, it is necessary to create cohorts of people engaged in work with this radionuclide.

**Objective of the study:** To form and describe a cohort of radiochemical production personnel of the Siberian Chemical Plant involved in work with uranium in the period 1953–2000.

**Material and methods:** The cohort was formed on the basis of information from the regional medical and dosimetric register, which contains information on all current and former employees of the Siberian Chemical Plant (about 65,000 people).

**Results:** A cohort of workers in the radiochemical production of the Siberian Chemical Plant who worked with uranium compounds in the period 1953–2000 was created and characterized. The cohort included 205 people (151 men and 54 women). Medical and dosimetric information about the individuals included in the cohort was entered into the created database of the personnel of the Siberian Chemical Plant involved in working with uranium compounds in the period 1953–2000.

**Conclusion:** The formed cohort of workers in the radiochemical production of the Siberian Chemical Plant will allow studying the stochastic effects of uranium exposure on the body of workers who come into contact with uranium compounds as part of their professional activities

(in particular, cancer incidence and mortality) and making scientifically substantiated conclusions regarding the role of this radionuclide in the occurrence of socially significant non-communicable diseases, primarily malignant neoplasms.

**Keywords:** *uranium compounds, personnel of radiochemical production, occupation diseases*

**For citation:** Kalinkin DE, Milto IV, Smaglin LV, Gorina GV, Litvinova OV, Samoilova YuA, Avkhimenko VA, Takhaouov RM. Characteristics of the Uranium Cohort of Personnel of the Radiochemical Production of the Siberian Chemical Plant. Medical Radiology and Radiation Safety. 2025;70(2):71–74. (In Russian). DOI:10.33266/1024-6177-2025-70-2-71-74

## Введение

Ископаемый уран – главный химический элемент, который служит основным сырьём для предприятий ядерного энергетического комплекса.

Вследствие того, что уран является источником ионизирующего излучения (ИИ), стохастическим эффектом которого при действии на организм человека может быть возникновение злокачественных новообразований (ЗНО) у лиц, контактирующих с ним в процессе производственной деятельности, этот радионуклид и соединения на его основе являются предметом научного интереса.

Авторы данной работы обнаружили в библиографической базе данных PubMed 2 601 публикацию, посвящённую означенной проблеме. В 30 из них описана взаимосвязь контакта человека с соединениями урана и неблагоприятными последствиями для его здоровья [1].

Международная комиссия по радиационной защите (МКРЗ) в Публикации № 150 (2020 г.) представила итоги изучения риска возникновения ЗНО у работников объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) вследствие воздействия на организм соединений урана. Объектом изучения являлись когорты работников европейских и североамериканских ОИАЭ. В результате исследования не удалось выявить однозначные зависимости доза–риск для урана, в связи с чем МКРЗ рекомендовала продолжать научные изыскания в направлении оценки роли долговременного профессионального облучения соединениями урана в возникновении ЗНО [2].

Риск возникновения ЗНО у работников перерабатывающих уран предприятий при регламентном уровне воздействия профессионального ИИ до 10 раз превышает онкологические риски у персонала ОИАЭ, не подвергающегося воздействию ИИ при исполнении своих профессиональных обязанностей [3].

Помимо этого, критическую роль в инициации ЗНО лёгкого в промышленно развитых странах играет газ радона, являющийся продуктом естественного распада урана [4, 5].

Контакт с урановой рудой определяет наличие повышенного риска повреждения ДНК (группа сравнения – лица, с ураном не контактировавшие) [6].

В группе из 12 400 лиц, работавших с соединениями урана, зарегистрировано 560 случаев смерти от ЗНО лёгкого. Суммарные дозы внешнего облучения (СДВО) составили 45 мЗв, внутреннего (для лёгких, в результате накопления продуктов распада радона) – 172 мЗв. Однако риски были статистически незначимы [7].

Выявлена статистически значимая положительная корреляция доза–эффект между воздействием на организм работников ОИАЭ соединений урана и ЗНО лёгкого у шахтёров уранодобывающих предприятий [8–10].

Подводя итог анализу научной литературы, посвящённой данной проблеме, можно констатировать недостаточность и противоречивость сведений о медико-биологических последствиях воздействия соединений урана на работников ОИАЭ, что обуславливает важность изучения роли урана в инициации ЗНО у работников ОИАЭ.

В свою очередь, для продолжения научных изысканий необходимо формирование когорты работников крупного промышленного предприятия, занимающегося переработкой урана. В качестве такого промышленного объекта нами был выбран Сибирский химический комбинат (СХК) – крупнейший отечественный ОИАЭ, который безаварийно функционирует более 75 лет. В состав СХК входят завод разделения изотопов (ЗРИ), радиохимическое производство (РХП), сублиматный завод (СЗ), химико-металлургический завод (ХМЗ), а также реакторное производство (РП), представленное двумя предприятиями.

На РП и РХП более 70 % работников подлежат индивидуальному дозиметрическому контролю, на ХМЗ и ЗРИ – 41 %. Большая часть работников имеют СДВО менее 200 мЗв.

Цель исследования: сформировать когорту работников РХП СХК, задействованных в работе с соединениями урана с 1953 по 2000 гг. (урановую когорту), и дать её дозиметрическую характеристику.

## Материал и методы

Когорта работников РХП СХК, задействованных в работе с соединениями урана с 1953 по 2000 г., создана на основе базы данных уникального информационно-исследовательского ресурса Северского биофизического научного центра – медико-дозиметрического регистра населения ЗАТО Северск и персонала СХК (регистр).

Регистр является электронной базой данных, которая содержит персональные данные, индивидуальные дозиметрические сведения, медико-биологическую и др. конфиденциальную информацию о работниках СХК, подвергавшихся в ходе исполнения своих профессиональных обязанностей регламентному профессиональному техногенному облучению ИИ.

Регистр располагает информацией обо всех работниках СХК (около 65 тыс. чел.) с даты запуска основных производств СХК по настоящее время: должность, профессиональный маршрут работника, вид облучения, методы дозиметрии, индивидуальные дозы внешнего облучения и содержание радионуклидов в организме работника, важнейшие социально значимые неинфекционные заболевания, причины смерти, вредные привычки и др.

Источником информации о персонале СХК для регистра служили индивидуальные карточки отдела кадров СХК (ф. Т-2), содержащие сведения о дате рождения работника и дате трудоустройства, месте работы, профессии, переводе с одного предприятия на другое.

Результаты индивидуального дозиметрического контроля внешнего облучения ( $\gamma$ -излучения) и сведения о активности урана в моче были получены в отделе охраны труда, ядерной и радиационной безопасности СХК.

## Результаты

Всего с 1953 по 2000 гг. на РХП СХК было задействовано 5 642 работника (4 661 мужчина и 981 женщина), из которых 1 410 чел. контролировались по внешнему

облучению (1 167 мужчин и 243 женщины) и 205 чел. (151 мужчина и 54 женщины) контролировались по активности урана в моче. В когорту работников РХП СХК с 1953 по 2000 гг. включали только тех работников, которые контролировались по внешнему облучению и активности урана в моче. Следует отметить, что активность других радионуклидов (например, плутония-239) в организме этих работников была меньше предела обнаружения (нижнего предела диапазона измерений). Количество таких работников РХП СХК с 1953 по 2000 гг. представлено в табл. 1.

Таблица 1

**Количество работников РХП, контролировавшихся по внешнему облучению с 1953 по 2000 гг.**

**Number of RCP employees monitored for external irradiation from 1953 to 2000**

	Количество работников
Мужчины	1 167
Женщины	243
Всего	1 410

Средняя СДВО работников РХП СХК с 1953 по 2000 г., составила 12,93 мЗв (у работников – 13,67 мЗв, у работниц – 9,38 мЗв). Данные о количественном распределении работников РХП СХК в зависимости от СДВО представлены в табл. 2, из которой следует, что основная доля работников РХП СХК имеет СДВО в диапазоне 0–100 мЗв (93,46 % работников с зарегистрированными дозовыми нагрузками).

Таблица 2

**Распределение работников РХП в зависимости от СДВО (с 1953 по 2000 гг.)**

**Distribution of RCP employees depending on the total external dose (from 1953 to 2000)**

	СДВО, мЗв				
	0	(0–100]	(100–200]	(200–500]	(500–1 000]
Мужчины	61	1 086	15	5	–
Женщины	11	232	–	–	–
Всего	72	1 318	15	5	–

Количество работников РХП СХК, задействованных в работе с соединениями урана с 1953 по 2000 гг., у которых выявлено содержание урана в моче и отсутствует активность других радионуклидов (например, плутония-239) представлено в табл. 3. Эта совокупность работников РХП СХК является объектом исследования в настоящей статье и получила название «урановая когорта». Установлено, что в работе с соединениями урана на РХП СХК в изучаемый период было задействовано 205 чел. (151 мужчина, 54 женщины). На всех членах урановой когорты имеются дозиметрические данные.

Таблица 3

**Количество работников РХП, задействованных в работе с соединениями урана с 1953 по 2000 гг.**

**The number of RCP employees involved in working with uranium compounds from 1953 to 2000**

	Количество работников
Мужчины	151
Женщины	54
Всего	205

Ниже приведены результаты контроля внешнего облучения и определения активности урана в моче работников, включённых в урановую когорту.

Контроль внешнего облучения выполнен у 196 работников урановой когорты (148 мужчин и 48 женщин).

В урановой когорте 51,7 % работников имеют СДВО более 100 мЗв (табл. 4).

Таблица 4

**Распределение работников РХП, задействованных в работе с соединениями урана с 1953 по 2000 гг., в зависимости от СДВО**

**Distribution of RCP employees involved in work with uranium compounds from 1953 to 2000, depending on the total external dose**

	СДВО, мЗв					
	0	(0–10]	(10–20]	(20–50]	(50–100]	> 100
Мужчины	1	7	4	22	34	80
Женщины	–	1	5	5	11	26
Всего	1	8	9	27	45	106

Объемная активность урана в моче (за счёт накопления соединений урана в организме) определена у 197 работников урановой когорты (144 мужчины и 53 женщины). 94,9 % работников урановой когорты имели активность урана в моче не более 0,74 Бк/мл (табл. 5).

Таблица 5

**Распределение работников РХП, задействованных в работе с соединениями урана с 1953 по 2000 гг., в зависимости от активности урана в моче**

**Distribution of RCP employees involved in work with uranium compounds from 1953 to 2000, depending on the activity of uranium in urine**

	Объемная активность урана в моче, Бк/мл				
	≤ 0,046	(0,046–0,74]	(0,74–1,48]	(1,48–3,70]	> 3,70
Мужчины	42	93	5	3	1
Женщины	17	35	1	–	–
Всего	59	128	6	3	1

### Обсуждение

Статистическая значимость и, соответственно, доказательность результатов эпидемиологического исследования напрямую зависит от двух условий: размера выборки и её однородности.

При проведении эпидемиологических исследований по установлению медико-биологических эффектов ИИ, как правило, сложно соблюсти оба вышеозначенных условия (обширные выборки персонала ОИАЭ редко бывают в достаточной степени однородными). Следовательно, для повышения статистической значимости результатов исследования необходимо максимизировать однородность исследуемой выборки.

В полной мере всё вышесказанное относится и к эпидемиологическим исследованиям медико-биологических эффектов воздействия соединений урана на организм человека.

Несмотря на достаточно большое количество научных публикаций, посвящённых обозначенной проблеме, однозначного ответа на вопрос об участии соединений урана в патогенезе различных заболеваний, в том числе, ЗНО, пока не получено.

В рамках проведённого когортного ретроспективного эпидемиологического исследования по изучению медико-биологических эффектов воздействия соединений урана нами была сформирована когорта работников одного из производств СХК (РХП), контактировавших в процессе своей профессиональной деятельности с соединениями урана с 1953 по 2000 гг., для которых установлены дозы внешнего облучения и объемная активность урана в моче.

В состав урановой когорты на основании верификации данных были включены 205 чел. (151 мужчина и 54 женщины).

Формирование урановой когорты является этапом создания электронной базы данных персонала ОИАЭ,



задействованных в работе с соединениями урана, для проведения комплексных ретроспективных эпидемиологических исследований по изучению медико-биологических последствий воздействия соединений урана на здоровье работников ОИАЭ, которые взаимодействуют с ним в процессе своей трудовой деятельности.

Сформированная когорта работников РХП СХК является небольшой (205 работников) в сравнении с другими когортами, сформированными другими исследователями, занимающимися изучением влияния различных радионуклидов на здоровье человека. В частности, Golden A.P. et al изучали когорту, включающую 12 400 человек [7], а Rage E. et al – 124 507 чел. [10].

Неоспоримыми преимуществами урановой когорты являются её однородность, а также полнота и достоверность дозиметрических и медико-биологических сведений, позволяющие объединить данную когорту с аналогичными когортами других ОИАЭ для проведения многоцентровых эпидемиологических исследований по изучению медико-биологических эффектов воздействия урана и его соединений на организм персонала ОИАЭ.

Представленная урановая когорта является тщательно сформированной выборкой, отличающейся высокой степенью однородности: для каждого работника есть сведения о дате рождения и трудоустройства, месте работы, профессии, профессиональном маршруте, индивидуальных дозах внешнего облучения (гамма-излучения) и объемной активности урана в моче.

Таким образом, сформированная урановая когорта служит источником однородных верифицированных сведений, необходимых для научно доказательной оценки влияния урана и продуктов его распада на здоровье персонала ОИАЭ, задействованного в работах с данным радионуклидом.

Наиболее важными сведениями, необходимыми для выполнения научных исследований в означенном направлении, являются сведения относительно внешнего и внутреннего облучения работников, включённых в когорту.

Исследование медико-биологических эффектов воздействия ИИ на организм человека требует формирования однородных когорт работников ОИАЭ, контактирующих в процессе своей профессиональной деятельности с вышеуказанным вредным производственным фактором. Это связано с тем, что необходимо исключить или минимизировать вклад в патогенез заболеваний иных вредных производственных факторов.

Помимо размера когорты (количества работников), подобные выборки должны обладать рядом параметров, позволяющих выполнять эпидемиологические исследования – однородный половозрастной состав, документированные дозы внешнего и внутреннего облучения, сведения о жизненном статусе, необходимые для вычисления количества человеко-лет наблюдения.

На примере одного ОИАЭ практически невозможно сформировать необходимую по численности когорту, отвечающую вышеуказанным требованиям.

Решить данную проблему можно, объединив когорты, сформированные на разных ОИАЭ.

### Заключение

Урановая когорта (работники РХП СХК, задействованные в работе с соединениями урана с 1953 по 2000 гг.), является информационно-исследовательским ресурсом для изучения медико-биологических эффектов влияния урана и продуктов его распада на организм работников ОИАЭ, взаимодействующих с соединениями урана в ходе профессиональной деятельности. Представленная урановая когорта может быть объединена с аналогичными когортами, сформированными на других ОИАЭ, для получения максимально доказательных эпидемиологических данных. Данный информационно-исследовательский ресурс незаменим при проведении масштабных эпидемиологических исследований с целью получения новых научных сведений, обладающих должной степенью доказательности.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Surdyk S., Itani M., Al-Lobaidy M., Kahale L.A., Farha A., Dewachi O., Akl E.A., Habib R.R. Weaponised Uranium and Adverse Health Outcomes in Iraq: a Systematic Review. *BMJ Glob Health*. 2021;6;2:e004166. doi: 10.1136/bmjgh-2020-004166.
2. Tirmarche M., Apostolaei I., Blanchardon E., Ellis E.D., Gilbert E., Harrison J.D., Laurier D., Marsh J.W., Sokolnikov M., Wakeford R., Zhivin S. ICRP Publication 150: Cancer Risks from Plutonium and Uranium Exposure. *Ann ICRP*. 2021;50;4:1–143. doi: 10.1177/01466453211028020.
3. Tomasek L. Lung Cancer Lifetime Risks in Cohort Studies of Uranium Miners. *Radiat Prot Dosimetry*. 2020;191;2:171–175. doi: 10.1093/rpd/ncaa143.
4. Thandra K.C., Barsouk A., Saginala K., Aluru J.S., Barsouk A. Epidemiology of Lung Cancer. *Contemp Oncol (Pozn)*. 2021;25;1:45–52. DOI: 10.5114/wo.2021.103829.
5. Kelly-Reif K., Sandler D.P., Shore D., Schubauer-Berigan M.K., Troester M.A., Nylander-French L., Richardson D.B. Radon and Cancer Mortality Among Underground Uranium Miners in the Příbram Region of the Czech Republic. *Am J Ind Med*. 2020;63;10:859–867. doi: 10.1002/ajim.23167.
6. da Silva F.M.R. Júnior, Tavella R.A., Fernandes C.L.F., Dos Santos M. Genetic Damage in Coal And Uranium Miners. *Mutat Res Genet Toxicol Environ Mutagen*. 2021;866:503348. doi: 10.1016/j.mrgentox.2021.503348.
7. Golden A.P., Milder C.M., Ellis E.D., Anderson J.L., Boice Jr J.D., Bertke S.J., Zablotska L.B. Cohort Profile: Four Early Uranium Processing Facilities in the US and Canada. *Int J Radiat Biol*. 2021;97;6:833–847. doi: 10.1080/09553002.2021.1917786.
8. Semenova Y., Pivina L., Zhunusov Y., Zhanaspayev M., Chirumbolo S., Muzdubayeva Z., Björklund G. Radiation-Related Health Hazards to Uranium Miners. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2020;27;28:34808–34822. doi: 10.1007/s11356-020-09590-7.
9. Richardson D.B., Rage E., Demers P.A., Do M.T., Fenske N., Definer V., Kreuzer M., Samet J., Bertke S.J., Kelly-Reif K., Schubauer-Berigan M.K., Tomasek L., Zablotska L.B., Wiggins C., Laurier D. Lung Cancer and Radon: Pooled Analysis of Uranium Miners Hired in 1960 or Later. *Environ Health Perspect*. 2022;130;5:57010. doi: 10.1289/EHP10669.
10. Rage E., Richardson D.B., Demers P.A., Do M.T., Fenske N., Kreuzer M., Samet J., Wiggins C., Schubauer-Berigan M.K., Kelly-Reif K., Tomasek L., Zablotska L.B., Laurier D. PUMA – Pooled Uranium Miners Analysis: Cohort Profile. *Occup Environ Med*. 2020;77;3:194–200. doi: 10.1136/oemed-2019-105981.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
**Финансирование.** Исследование выполнено в рамках государственного задания, тема НИР «Оценка радиационной обстановки и состояния здоровья персонала Сибирского химического комбината, задействованного в работе с соединениями урана».

**Участие авторов.** Концепция и дизайн исследования: Калинин Д.Е., Авхименко В.А., Тахауов Р.М.; сбор данных: Самойлова Ю.А., Горина Г.В., Литвинова О.В.; анализ и интерпретация результатов: Калинин Д.Е., Смаглий Л.В.; обзор литературы: Калинин Д.Е.; подготовка проекта рукописи: Калинин Д.Е., Мильто И.В. Все авторы рассмотрели результаты и одобрили окончательный вариант рукописи.

**Поступила:** 20.12.2024. **Принята к публикации:** 25.01.2025.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Financing.** The research was carried out within the framework of the state assignment, the research topic is "Assessment of the radiation situation and the state of health of the personnel of the Siberian Chemical Plant involved in working with uranium compounds".

**Contribution.** Research concept and design: Kalinkin D.E., Avkhimenko V.A., Takhaouov R.M.; data collection: Samoilova Yu.A., Gorina G.V., Litvinova O.V.; analysis and interpretation of results: Kalinkin D.E., Smaglyi L.V.; literature review: Kalinkin D.E.; preparation of draft manuscript: Kalinkin D.E., Mito I.V. All the authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

**Article received:** 20.12.2024. **Accepted for publication:** 25.01.2025.