

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

## КОГОРТА СУБЛИМАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА СИБИРСКОГО ХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА (ДОЗИМЕТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА)

<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@sbrc.seversk.ru, kalinkin750@gmail.com

### РЕФЕРАТ

**Введение:** Уран, являющийся сырьевой основой атомной отрасли, способен вызывать неблагоприятные медико-биологические последствия у работников, контактирующих в процессе профессиональной деятельности с его соединениями. Для исследования данного эффекта и детального изучения медико-биологических последствий воздействия соединений урана на организм персонала объектов использования атомной энергии необходимо сформировать когорту лиц, занятых в работах с соединениями урана. Одним из ключевых элементов технологии преобразования урана, осуществляемого в рамках сублиматного производства, является получение сырьевого гексафторида урана для последующего изотопного обогащения.

**Цель:** Сформировать и охарактеризовать когорту сублиматного производства персонала Сибирского химического комбината, задействованного в работе с соединениями урана в период 1953–2000 гг.

**Материал и методы:** Источником информации служил региональный медико-дозиметрический регистр, содержащий информацию относительно всех действующих и бывших работников Сибирского химического комбината (около 65 тыс. чел.) с момента основания предприятия по настоящее время.

**Результаты:** Сформирована и описана когорта работников сублиматного производства Сибирского химического комбината, задействованных в работе с соединениями урана в период 1953–2000 гг. Численность когорты составляет 577 человек (475 мужчин и 102 женщины). Медико-биологическая информация и дозиметрические сведения о работниках, включённых в когорту, внесены в созданную базу данных персонала Сибирского химического комбината, задействованного в работе с соединениями урана в период 1953–2000 гг.

**Заключение:** Сформированная когорта позволит проводить эпидемиологические исследования по оценке заболеваемости и смертности персонала вследствие злокачественных новообразований, а также делать научно обоснованные выводы относительно роли соединений урана в возникновении и смертности вследствие злокачественных новообразований.

**Ключевые слова:** соединения урана, персонал сублиматного производства, формирование когорты, эпидемиология

**Для цитирования:** Калинин Д.Е., Мильто И.В., Тахауов А.Р., Тахауова Л.Р., Самойлова Ю.А., Горина Г.В., Литвинова О.В., Тахауов Р.М. Когорта сублиматного производства Сибирского химического комбината (дозиметрическая характеристика) // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2024. Т. 69. № 1. С. 73–76. DOI:10.33266/1024-6177-2024-69-1-73-76

Dmitry E. Kalinkin<sup>1,2</sup>, Ivan V. Milto<sup>1,2</sup>, Anas R. Takhauov<sup>1</sup>, Lilia R. Takhauova<sup>1,2</sup>,  
Yulia A. Samoilova<sup>3</sup>, Galina V. Gorina<sup>1</sup>, Olesya V. Litvinova<sup>1</sup>, Ravil M. Takhauov<sup>1,2</sup>

## The Sublimate Production Cohort of the Siberian Chemical Plant (Dosimetric Characteristics)

<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: Dmitry E. Kalinkin, e-mail: mail@sbrc.seversk.ru, kalinkin750@gmail.com

### ABSTRACT

**Introduction:** Uranium, which is the raw material basis of the nuclear industry, is capable of causing adverse medical and biological consequences for workers who come into contact with its compounds in the course of their professional activities. In order to study this effect and to study in detail the biomedical consequences of the effects of uranium compounds on the body of personnel of nuclear power facilities, it is necessary to form a cohort of persons engaged in work with uranium compounds. One of the key elements of the uranium conversion technology carried out within the framework of sublimation production is the production of raw uranium hexafluoride for subsequent isotopic enrichment.

**Purpose:** To form and characterize a cohort of sublimation production of the personnel of the Siberian Chemical Plant involved in work with uranium compounds in the period 1953–2000.

**Material and methods:** The source of information was the regional medical dosimetric register of Seversk Biophysical Research Center, containing information on all current and former employees of the Siberian Chemical Plant (about 65,000 people) from the moment of the company's foundation to the present.

**Results:** A cohort of Siberian Chemical Plant workers involved in work with uranium compounds in the period 1953–2000 has been formed and described. The cohort consists of 577 people (475 men and 102 women). Biomedical information and dosimetric information about the employees included in the cohort are included in 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 and database will allow conducting epidemiological studies to assess the morbidity and mortality of personnel due to malignant neoplasms, as well as making scientifically sound conclusions about the role of uranium compounds in the occurrence and mortality due to malignant neoplasms.

**Keywords:** uranium compounds, personnel of radiation hazardous production, cohort formation, epidemiology

**For citation:** Kalinkin DE, Milto IV, Takhauov AR, Takhauova LR, Samoilova YA, Gorina GV, Litvinova OV, Takhauov RM. The Sublimate Production Cohort of the Siberian Chemical Plant (Dosimetric Characteristics). *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2024;69(1):73–76. (In Russian). DOI:10.33266/1024-6177-2024-69-1-73-76

## Введение

Уран – ключевой химический элемент, являющийся сырьевой основой ядерной энергетики. Учитывая его широкое использование и одно из главных свойств – радиотоксичность, изучение биологических свойств урана служит предметом постоянного научного интереса в отношении его способности вызывать развитие злокачественных новообразований (ЗНО) у работников, прямо или опосредованно с ним контактирующих.

Работа предприятий ядерного энергетического комплекса основана на использовании уранового сырья.

Так, Surdyk S. et al обнаружили 2 601 работ, посвящённых означенной проблеме. В 30 научных исследованиях сообщается о положительной корреляции между воздействием соединений урана и неблагоприятными последствиями для здоровья человека [1].

В Публикации № 150 Международной комиссии по радиационной защите (2020 г.) представлены результаты эпидемиологических исследований риска развития ЗНО в результате воздействия на организм соединений урана. Эпидемиологические исследования риска развития ЗНО, связанного с воздействием соединений урана, были проведены среди групп европейских и североамериканских рабочих, занятых в ядерном топливном цикле. Текущие результаты не позволили получить надёжные модели доза–риск для урана, и для будущих исследований рекомендовано продолжать работу в направлении оценки доз, связанных с хроническим профессиональным облучением персонала соединениями урана [2].

Tomasek L. обобщил результаты исследования в когорте работников, занимающихся добычей урана, в частности, онкологические риски при низком уровне воздействия и модели риска с модифицирующим эффектом степени воздействия, возраста и времени после воздействия, которые используются для расчёта пожизненных рисков. Автор показал, что избыточные относительные риски, возникающие из-за низких экспозиций, до 10 раз превышают грубые коэффициенты риска [3].

Радон, образующийся в результате естественного распада урана, является второй по значимости причиной рака лёгкого в развитых странах [4, 5].

В большинстве исследований, посвящённых изучению повреждения ДНК у работников уранодобывающих шахт, наблюдалось значительно более высокое её повреждение по сравнению с группами, не подвергавшимися воздействию [6].

Golden A.P. et al опубликовали результаты исследования когорты более чем из 12 400 рабочих (включая 1 300 женщин), занятых в работе с соединениями урана. В когорте было выявлено 560 смертей от рака лёгкого, 503 случая неопухолевых респираторных заболеваний, 67 случаев заболеваний почек, 1 596 случаев ишемической болезни сердца и 101 случай деменции и болезни Альцгеймера. Средние кумулятивные дозы составили 45 мЗв для облучения всего тела внешним ионизирующим излучением и 172 мГр для лёгких от продуктов распада радона. Однако только в отношении деменции и болезни Альцгеймера у мужчин были выявлены ста-

статически значимые риски (1,29; 95 % доверительный интервал: 1,04; 1,54) [7].

Согласно результатам исследования, опубликованном Semenova Y. et al, наиболее значимая положительная зависимость доза–реакция обнаружена между профессиональным воздействием соединений урана и раком лёгкого. Кроме того, был обнаружен повышенный, но не статистически значимый риск смерти вследствие рака печени, желудка и почек у шахтёров уранодобывающих предприятий [8].

Статистически значимое повышение риска возникновения рака лёгкого у работников урановых производств в своих публикациях отмечают Richardson D.B. et al [9] и Rage E. et al [10].

Таким образом, несмотря на большое количество публикаций, требуется продолжение исследований, направленных на изучение роли соединений урана в развитии ЗНО у работников объектов использования атомной энергии. Для выполнения исследования необходимо сформировать когорту лиц, занятых в работах с соединениями урана.

Означенная когорта должна быть сформирована из работников крупного предприятия атомной отрасли, на котором осуществляются работы с соединениями урана. На предприятии должны отсутствовать аварийные ситуации, приводящие к сверхнормативному облучению персонала. Данному требованию соответствует Сибирский химический комбинат (СХК) – один из крупнейших в мире комплекс предприятий атомной отрасли.

Персонал СХК трудится на предприятиях основного производства – реакторном (РП), радиохимическом (РХП), разделительном (РдП), сублиматном (СП), плутониевом (ПП), и вспомогательного производства СХК – ремонтно-механическом заводе и теплоэлектроцентрали. Работники основных производств составляют 52,6 % всего персонала СХК. Соотношение мужчин и женщин на основном и вспомогательном производствах составляет 3,9:1 и 2,2:1 соответственно.

На различных производствах СХК доли работников, контролируемых по внешнему облучению ( $\gamma$ -излучение), различаются с учётом специфики производственного процесса, а также используемых технологий и оборудования. На РП и РХП более 70 % работников имеют данные индивидуальной дозиметрии, в то время как на ПП и РдП доля работников, состоящих на индивидуальном дозиметрическом контроле, составляет около 41 %.

Подвляющее большинство работников, подвергавшихся воздействию внешнего облучения ( $\gamma$ -излучения), имеют среднюю дозу внешнего облучения (СДВО) в пределах от 0 до 200 мЗв.

Цель исследования: сформировать и охарактеризовать когорту сублиматного производства персонала СХК, задействованного в работе с соединениями урана в период 1953–2000 гг.

## Материал и методы

Источником данных для формирования когорты персонала СХК, задействованного в работе с соединениями урана в период 1953–2000 гг., служил региональный

медико-дозиметрический регистр населения ЗАТО Северск и персонала СХК (РМДР).

РМДР представляет собой созданную Северским биофизическим научным центром постоянно пополняемую базу данных, содержащую персонализированную информацию о лицах, подвергавшихся длительному воздействию техногенного облучения ионизирующим излучением в малых дозах, вследствие чего РМДР является эффективным инструментом для реализации эпидемиологических исследований по оценке эффектов воздействия ионизирующего излучения.

В базе данных РМДР содержится информация относительно всех действующих и бывших работников СХК (около 65 тыс. чел.) с момента основания предприятия по настоящее время: паспортные данные, сведения о характере профессиональной деятельности, виде профессионального облучения, методах измерения и динамике накопления индивидуальных доз внешнего облучения, содержании радионуклидов в организме, причинах смерти, наиболее значимых заболеваниях, вредных привычках и др.

Основным источником информации о работниках служили индивидуальные карточки (ф. Т-2) сектора учёта отдела кадров СХК, содержащие сведения о дате рождения и трудоустройства, месте работы, профессии, переводе с одного предприятия на другое. Данные об индивидуальных дозах внешнего облучения ( $\gamma$ -излучения), измеренных с помощью фотоплёночных и термолюминесцентных дозиметров, были получены в отделе охраны труда, ядерной и радиационной безопасности СХК.

### Результаты

Всего в период 1953–2000 гг. на СП СХК было задействовано 4 220 чел. Количество работников СП в период 1953–2000 гг. представлено в табл. 1.

Таблица 1

Количество работников СП (1953–2000 гг.)  
The number of employees of sublimate production (1953–2000)

	Количество работников
Мужчины	3 226
Женщины	994
Всего	4 220

Средняя СДВО, накопленная работниками СП в течение изучаемого периода, составила 29,61 мЗв (среди мужчин – 35,76 мЗв, среди женщин – 15,8 мЗв). Данные о количественном распределении работников СП в зависимости от СДВО представлены в табл. 2, из которой следует, что основная доля работников СП имеют СДВО в диапазоне 0–100 мЗв (67,85 % от всех лиц когорты СП с зарегистрированными дозами внешнего облучения).

Таблица 2

Распределение работников СП в зависимости от СДВО  
Distribution of sublimate production employees by the total external dose

	СДВО, мЗв					
	0	(0–100]	(100–200]	(200–500]	(500–1 000]	> 1 000
Мужчины	31	954	211	180	71	4
Женщины	3	222	39	17	1	0
Всего	34	1 176	250	197	72	4

В табл. 3 представлено количество работников СП, задействованных в работе с соединениями урана в 1953–2000 гг.

Таблица 3

Количество работников СП, задействованных в работе с соединениями урана в период 1953–2000 гг.

The number of employees of sublimate production engaged in works with uranium compounds over the time period of 1953–2000

	Количество работников
Мужчины	475
Женщины	102
Всего	577

Далее представлены сведения относительно результатов контроля внешнего и внутреннего облучения у работников СП, задействованных в работе с соединениями урана в период 1953–2000 гг. Контроль внешнего облучения выполнялся у 465 работников СП: у 391 мужчины и 74 женщин (табл. 4). Как указано в табл. 4, в рассматриваемой когорте 51,82 % работников СП имели СДВО в диапазоне 0–100 мЗв.

Таблица 4

Распределение работников СП, задействованных в работе с соединениями урана в период 1953–2000 гг., в зависимости от СДВО

Distribution of sublimate production employees engaged in works with uranium compounds in 1953–2000 by the total external dose

	СДВО, мЗв					
	0	(0–100]	(100–200]	(200–500]	(500–1 000]	> 1 000
Мужчины	2	189	58	87	54	1
Женщины	1	49	15	9	–	–
Всего	3	238	73	96	54	1

Контроль внутреннего облучения выполнялся у 530 работников СП: у 433 мужчин и 97 женщин (табл. 5). Как указано в табл. 5, 94,3 % работников СП из рассматриваемой когорты имеют активность соединений урана в моче, не превышающую 0,74 Бк.

Таблица 5

Распределение работников СП, задействованных в работе с соединениями урана в период 1953–2000 гг., в зависимости от активности соединений урана в моче

Distribution of sublimate production employees engaged in works with uranium compounds in 1953–2000 by activity of uranium compounds in urine

	Активность соединений урана в моче, Бк					
	$\leq 0,046$	(0,046–0,74]	(0,74–1,48]	(1,48–3,70]	> 3,70	
Мужчины	124	284	9	7	9	
Женщины	40	52	3	–	2	
Всего	164	336	12	7	11	

### Результаты и обсуждение

В результате исследования сформирована когорта работников СП СХК, работавших на СХК в период 1953–2000 гг. Численность когорты составляет 4 220 человек, из них 3 226 мужчин и 994 женщины.

В работе с соединениями урана в указанный период времени были задействованы 577 работников СП (475 мужчин и 102 женщины).

Целью формирования представленной когорты являлось создание электронной базы данных для изучения неблагоприятного влияния урана и продуктов его распада на здоровье персонала, занятого в работе с ним.

Когорта сформирована на основании сведений РМДР, содержащего информацию относительно всех действующих и бывших работников СХК (около 65 тыс. чел., с момента основания предприятия по настоящее время).

Представленная когорта работников, является относительно небольшой по численности (577 человек)

в сравнении с когортами, сформированными в рамках исследований других авторов, посвящённых влиянию урана и его соединений на здоровье работников, с ним контактирующих. Так, Golden A.P. et al описали когорту из 12 400 работников [7], а Rage E. et al – когорту из 124 507 работников [10]. Тем не менее, представленная когорта представляет собой базу данных, содержащую верифицированные сведения, необходимые для доказательной оценки влияния урана и продуктов его распада на здоровье персонала, задействованного в работах с ним.

В частности, наиболее важными сведениями, необходимыми для выполнения научных исследований в означенном направлении, являются сведения относительно внешнего и внутреннего облучения членов когорты.

Как было представлено выше, контроль внешнего облучения выполнялся у 80,58 % работников изучаемой когорты, СДВО у 51,82 % не превышала 100 мЗв. Контроль внутреннего облучения выполнялся у 91,85 % работников, у 94,33 % активность соединений урана в моче не превышала 0,74 Бк.

### Заключение

Выявление закономерностей возникновения стохастических эффектов воздействия ионизирующего излучения на организм человека требует формирования обширных когорт работников, контактирующих в процессе своей профессиональной деятельности с вышеуказанным фактором риска.

Помимо количественных характеристик, подобные когорты должны обладать рядом качественных признаков, позволяющих выполнять эпидемиологические исследования – однородный половозрастной состав, документированные дозы внешнего и внутреннего облучения, информация о жизненном статусе регистрантов, необходимая для вычисления эпидемиологических показателей (например, рисков, человеко-лет наблюдения).

Учитывая эти требования, на примере одного предприятия атомной отрасли практически невозможно сформировать необходимую по численности когорту. Оптимальным способом решения этой проблемы является объединение когорт, сформированных на разных предприятиях.

Сформированная когорта работников СП СХК, задействованных в работе с соединениями урана в период 1953–2000 гг., несмотря на относительно небольшой размер, может являться информационной основой для изучения последствий влияния означенного химического элемента и продуктов его распада на здоровье персонала, с ними контактирующего, и получения научных сведений, обладающих должной степенью доказательности.

Представленная когорта может быть объединена с аналогичными когортами, сформированными на других предприятиях атомной промышленности, для получения максимально доказательных эпидемиологических данных.

### 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., Apostoaei 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., Bjørklund 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., Deffner 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., Мильто И.В., Тахауов Р.М.; сбор данных: Горина Г.В., Литвинова О.В., Самоилова Ю.А., Тахауов А.Р., Тахауова Л.Р.; анализ и интерпретация результатов: Калинин Д.Е., Тахауов А.Р.; обзор литературы: Калинин Д.Е., Тахауова Л.Р.; подготовка проекта рукописи: Калинин Д.Е., Тахауов А.Р., Мильто И.В. Все авторы рассмотрели результаты и одобрили окончательный вариант рукописи.

**Поступила:** 20.10.2023. Принята к публикации: 27.11.2023.

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

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

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

**Article received:** 20.10.2023. Accepted for publication: 27.11.2023.