

== МАТЕРИАЛЫ VII МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ==
“МЕДИЦИНСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ
ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ”
(ТОМСК, 21–22 МАРТА 2023 г.)

УДК [57+61]:616-03:613.648:539.163:539.1.047

**ХАРАКТЕРИСТИКА КОГОРТЫ ПЕРСОНАЛА СУБЛИМАТНОГО
ПРОИЗВОДСТВА СИБИРСКОГО ХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА,
ЗАДЕЙСТВОВАННОГО В РАБОТЕ С ПЛУТОНИЕМ-239**

© 2024 г. Д. Е. Калинин^{1,2*}, Г. В. Горина¹, О. В. Литвинова¹,
И. В. Мильто^{1,2}, А. Р. Тахауов¹, Л. Р. Тахауова^{1,2}, Ю. А. Самойлова³, А. Б. Тривоженко³,
В. А. Авхименко³, Р. М. Тахауов^{1,2}

¹Северский биофизический научный центр

Федерального медико-биологического агентства, Северск, Россия

²Сибирский государственный медицинский университет

Министерства здравоохранения Российской Федерации, Томск, Россия

³Сибирский федеральный научно-клинический центр

Федерального медико-биологического агентства, Северск, Россия

*E-mail: kalinkin750@gmail.com, mail@sbrs.seversk.ru

Поступила в редакцию 28.06.2023 г.

После доработки 13.03.2024 г.

Принята к публикации 27.03.2023 г.

Плутоний-239 обладает свойством инициировать радиогенные заболевания у работников, контактирующих с ним в процессе профессиональной деятельности. Для исследования неблагоприятных медико-биологических эффектов и детального изучения потенциальных последствий воздействия плутония на организм персонала объектов использования атомной энергии необходимо сформировать когорту лиц, задействованных в работе с этим изотопом. Цель исследования — сформировать и охарактеризовать когорту персонала сублиматного производства Сибирского химического комбината, задействованного в работе с плутонием-239 в период 1953–2000 гг.

Источником информации для формирования когорты служила база данных регионального медико-дозиметрического регистра населения ЗАТО Северск и персонала Сибирского химического комбината, содержащая персональную, дозиметрическую и медико-биологическую информацию относительно всех действующих и бывших работников Сибирского химического комбината (около 65 000 человек) с момента основания предприятия по настоящее время.

В рамках настоящей работы сформирована когорта персонала сублиматного производства, задействованного в работе с плутонием-239 в период 1953–2000 гг., численность которой составляет 1052 человека (577 мужчин и 475 женщин). Дана дозиметрическая и медико-биологическая характеристика работников, включенных в когорту сублиматного производства. Созданная когорта сублиматного производства позволит проводить комплексные ретроспективные и проспективные эпидемиологические исследования по оценке заболеваемости и смертности персонала объектов использования атомной энергии, а также делать научно обоснованные выводы относительно роли плутония-239 в инициации важнейших социально значимых неинфекционных заболеваний (например, злокачественных новообразований, болезней системы кровообращения и др.) и смертности от них. Научные данные, полученные в результате настоящего исследования, позволят определить основные направления по организации системы оценки рисков для здоровья персонала на участках по выводу из эксплуатации объектов использования атомной энергии и формированию комплекса мероприятий, направленных на совершенствование системы здоровьесбережения работников объектов использования атомной энергии и продление их трудового долголетия.

Ключевые слова: плутоний-239, персонал сублиматного производства

DOI: 10.31857/S0869803124020065, **EDN:** NBESRN

Плутоний — химический элемент, являющийся важнейшим продуктом производственного цикла предприятий атомной отрасли. Однако, учитывая широкое его использование и одно из главных свойств — радиоактивность, ²³⁹Pu служит предметом постоянного научного интереса в отношении его

способности вызывать развитие злокачественных новообразований (ЗНО) у работников, прямо или опосредованно с ним контактирующих [1, 2].

В решении задач индивидуального дозиметрического контроля (ИДК) внутреннего облучения от ²³⁹Pu работников, имеющих производственный

контакт с данным радионуклидом, наиболее эффективным является метод косвенной дозиметрии, основанный на определении содержания этого радионуклида в моче и последующей интерпретации полученных результатов. В связи с чрезвычайно малой скоростью выведения ^{239}Pu из организма с мочой его активность в анализируемых пробах оказывается, как правило, весьма низкой даже при значительных количествах инкорпорированного радионуклида в организме. Это обстоятельство требует наличия достаточно малого значения нижнего предела диапазона измерений (НПДИ), которое должен иметь метод, предназначенный для определения ^{239}Pu в моче при косвенно-дозиметрическом контроле внутреннего облучения. Для ИДК внутреннего облучения от ^{239}Pu персонала объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) применяются радиометрические методы определения ^{239}Pu в моче, имеющие значение НПДИ на уровне 10–15 мБк в суточном количестве мочи [1, 3, 4].

Ингаляционный путь является основным путем поступления ^{239}Pu в организм работников ОИАЭ. При косвенно-дозиметрическом контроле внутреннего облучения для корректного перевода измеренных значений активности ^{239}Pu в моче в дозу внутреннего облучения, наряду со знанием физико-химических характеристик поступающих аэрозолей и параметров биологических процессов обмена поступившего в организм радионуклида, требуется информация о динамике его поступления [2, 5–8].

В большинстве исследований, посвященных изучению повреждения ДНК у работников ОИАЭ, наблюдается значительно более высокий уровень ее повреждения по сравнению с группами, не подвергавшимися в процессе трудовой деятельности воздействию ионизирующего излучения (ИИ) [9]. Радиационно-индуцированные ЗНО возникают при мутациях в соматических клетках, вызванных воздействием ИИ. Так, повышение риска возникновения радиогенных ЗНО кроветворных тканей (например, лейкозов) наблюдается в течение 2–5 лет воздействия ИИ, радиогенных солидных ЗНО, как правило, — составляет не менее 5–10 лет [6, 7].

Таким образом, несмотря на значительные успехи по изучению механизмов негативного влияния ^{239}Pu на организм человека, требуется продолжение исследований, направленных на изучение роли плутония в развитии ЗНО у работников ОИАЭ, с ним контактирующих. Для выполнения подобных исследований необходимо сформировать когорту лиц, занятых в работах с ^{239}Pu .

Означенная когорта должна быть составлена из работников крупного ОИАЭ, на котором осуществляются работы с ^{239}Pu . На ОИАЭ должны отсутствовать аварийные ситуации, приводящие к сверхнормативному облучению персонала. Данному требованию соответствует Сибирский химический комбинат (СХК) — один из крупнейших в мире ОИАЭ.

Персонал СХК трудится на предприятиях основного производства — реакторном (РП), радиохимическом (РХП), разделительном (РдП), сублиматном (СП), плутониевом (ПП) и вспомогательного производства СХК. 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 удельный вес работников, контролируемых по внешнему облучению (γ -излучение), различается с учетом специфики производственного процесса, а также используемых технологий и оборудования. На РП и РХП более 70% работников имеют данные ИДК, в то время как на ПП и РдП доля работников, состоящих на ИДК, составляет около 41%.

подавляющее большинство работников, подвергавшихся воздействию внешнего облучения (γ -излучение), имеют среднюю дозу внешнего облучения (СДВО) в пределах от 0 до 200 мЗв.

Формирование и подробная дозиметрическая характеристика когорты СП позволяют более корректно рассчитывать индивидуальные дозы внутреннего облучения работников СХК, более адекватно проводить оценку эффектов радиационного воздействия и использовать полученные данные при формировании групп персонала для проведения соответствующих профилактических, лечебно-диагностических и реабилитационных мероприятий.

Цель исследования — сформировать и охарактеризовать когорту персонала СП СХК, задействованного в работе с ^{239}Pu в период 1953–2000 гг.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Источником информации служил региональный медико-дозиметрический регистр населения ЗАТО Северск и персонала СХК (РМДР) Северского биофизического научного центра, содержащий персональную, дозиметрическую и медико-биологическую информацию относительно работников СХК.

РМДР представляет собой постоянно действующую и пополняемую систему сбора, систематизации персонифицированной информации и научного анализа данных, вследствие чего является эффективным инструментом для реализации эпидемиологических подходов к оценке эффектов воздействия ИИ.

В базе данных РМДР содержится информация относительно всех действующих и бывших работников СХК (около 65 000 человек) с момента основания СХК по настоящее время: персональные данные, сведения о характере профессиональной деятельности, виде профессионального облучения, методах измерения и динамике накопления индивидуальных доз внешнего облучения, содержании различных радионуклидов в организме, причинах смерти, наиболее значимых заболеваниях, вредных привычках и др.

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

РЕЗУЛЬТАТЫ

Число работников СП СХК в период 1953–2000 гг. составляет 4220 человек (3226 мужчин и 994 женщины) (табл. 1).

ИДК внешнего облучения выполнен у 1733 работников (1451 мужчина и 282 женщины). Средняя СДВО, накопленная работниками СП СХК в течение изучаемого периода, составила 11.93 ± 18.36 мЗв (среди мужчин — 12.89 ± 19.88 мЗв, среди женщин — 9.02 ± 12.38 мЗв).

Данные о количественном распределении работников СП в зависимости от СДВО представлены

Таблица 1. Число работников сублиматного производства СХК (1953–2000 гг.)

Table 1. Number of SCP sublimation production employees (1953–2000)

Распределение по полу	Общее число работников
Мужчины	3226
Женщины	994
Всего	4220

Таблица 3. Число работников сублиматного производства СХК, задействованных в работе с ^{239}Pu в период 1953–2000 гг.

Table 3. Number of SCP sublimation production employees involved in working with ^{239}Pu in 1953–2000

Распределение по полу	Число работников
Мужчины	577
Женщины	475
Всего	1052

в табл. 2, из которой следует, что основная доля работников СП имеют СДВО в диапазоне 0–100 мЗв (67.86% от всех лиц когорты СП с зарегистрированными дозами внешнего облучения).

В табл. 3 представлено число работников СП, задействованных в работе с ^{239}Pu в период 1953–2000 гг.

Как указано в табл. 3, в период 1953–2000 гг. в работе с ^{239}Pu на СП было задействовано 1052 работника СП (577 мужчин и 475 женщин).

Далее представлены сведения относительно результатов ИДК внешнего и внутреннего облучения у работников СП СХК, задействованных в работе с ^{239}Pu в период 1953–2000 гг.

ИДК внешнего облучения выполнен у 465 работников СП СХК: 391 мужчины и 74 женщин (табл. 4). Как указано в табл. 4, 51.82% работников, входящих в когорту СП, имеют СДВО в диапазоне 0–100 мЗв.

Таблица 2. Распределение работников сублиматного производства СХК в зависимости от суммарной дозы внешнего облучения

Table 2. Distribution of SCP sublimation production employees, depending on the total dose of external irradiation

Распределение по полу	СДВО, мЗв					
	0	(0–100]	(100–200]	(200–500]	(500–1000]	>1000
Мужчины	31	954	211	180	71	4
Женщины	3	222	39	17	1	0
Всего	34	1176	250	197	72	4

Таблица 4. Распределение работников сублиматного производства СХК, задействованных в работе с ^{239}Pu в период 1953–2000 гг., в зависимости от суммарной дозы внешнего облучения**Table 4.** Distribution of SCP sublimation production employees involved in working with ^{239}Pu in 1953–2000, depending on the total dose of external irradiation

Распределение по полу	СДВО, мЗв					
	0	(0–10]	(10–20]	(20–50]	(50–100]	>100
Мужчины	2	39	29	59	62	200
Женщины	1	9	11	16	13	24
Всего	3	48	40	75	75	224

ИДК внутреннего облучения выполнен у 530 работников СП СХК: 433 мужчин и 74 женщин (табл. 5). Как указано в табл. 5, 94.34% работников, входящих в когорту СП, имеют содержание ^{239}Pu в моче, не превышающую 0.74 Бк.

ОБСУЖДЕНИЕ

К настоящему времени стало очевидно, что представления о закономерностях и механизмах действия ИИ в “малых” дозах (суммарная накопленная доза до 100 мЗв) весьма ограничены и неполны [4, 8]. Неопределенность спектра медико-биологических эффектов “малых” доз ИИ, а также сомнения относительно самой возможности реализации патологических изменений в результате данного воздействия свидетельствуют о целесообразности проведения исследований по установлению медико-биологических эффектов “малых” доз ИИ. При облучении ИИ человека традиционно рассматривается возможность проявления таких стохастических эффектов, как генетические нарушения и возникновение ЗНО [8–10].

В результате исследования из общего числа работников СП СХК в период 1953–2000 гг. (4220 человек, из них 3226 мужчин и 994 женщины) сформирована когорта СП — 1052 человека, из них 577 мужчин и 475 женщин, что составляет 85.9% работников СП СХК.

В последние несколько десятилетий интенсивно изучается связь между повышенным риском развития неонкологических заболеваний при профессиональном техногенном облучении ИИ [11]. При этом остается множество неопределенностей относительно времени реализации и степени выраженности эффектов воздействия ИИ в диапазоне “малых” доз [12]. Эта информация является важной для понимания профессиональных рисков для более чем полумиллиона работников, занятых на различных ОИАЭ в мире [13, 14]. Для проведения научных исследований, отвечающих принципам доказательной медицины, необходимо на подготовительном этапе уделить внимание формированию репрезентативных когорт различных ОИАЭ.

В отсутствие прямых доказательств повышения риска развития неонкологических заболеваний у работников ОИАЭ различные международные организации рекомендовали для прогнозирования рисков применять линейную беспороговую модель, используя данные исследований когорты лиц, переживших атомную бомбардировку в Японии [15]. Линейная беспороговая модель предполагает линейность зависимости “доза–эффект” при “малых” дозах ИИ и предсказывает небольшие риски даже при самых низких уровнях облучения [16, 17].

Однако современные молекулярные и эпидемиологические исследования ставят под сомнение

Таблица 5. Распределение работников сублиматного производства СХК, задействованных в работе с ^{239}Pu в период 1953–2000 гг., в зависимости от содержания ^{239}Pu в моче**Table 5.** Distribution of SCP sublimation production employees involved in working with ^{239}Pu in 1953–2000, depending on the content of ^{239}Pu in urine

Распределение по полу	Содержание ^{239}Pu в моче, Бк				
	≤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

корректность использования линейной беспороговой модели [18]. Таким образом, существует острая необходимость проведения прямых исследований работников, подвергавшихся профессиональному облучению ИИ, для получения наиболее обоснованных оценок рисков. Отдельные исследования работников, подвергавшихся профессиональному облучению в диапазоне “малых” доз ИИ, имеют низкую статистическую мощность для выявления рисков [19–20], поэтому представляется необходимым проведение крупных эпидемиологических исследований, объединяющих различные когорты работников ОИАЭ. Вследствие этого обстоятельства возрастают требования к когортам персонала различных ОИАЭ, которые должны иметь аналогичные параметры и подробно охарактеризованы.

Современный анализ когорт персонала ОИАЭ дает противоречивые результаты относительно повышенного риска развития неонкологических заболеваний сердечно-сосудистой и дыхательной систем при профессиональном техногенном внешнем облучении (γ -излучение) работников реакторных производств [21, 22]. В последние несколько лет получены важные доказательства относительно повышения рисков онкологических и неонкологических заболеваний при внешнем и внутреннем облучении, преимущественно от плутония [23, 24].

Целью формирования представленной когорты СП является создание информационной базы данных для изучения влияния ^{239}Pu на состояние здоровья персонала, занятого в работе с ним.

Когорта сформирована на основании сведений базы данных РМДР, содержащего информацию относительно всех действующих и бывших работников СХК с момента основания предприятия по настоящее время.

Представленная когорта работников, является относительно небольшой по численности (1052 человека) в сравнении с когортами, сформированными в рамках исследований других авторов, посвященных изучению последствий воздействия ^{239}Pu на здоровье работников ОИАЭ. Тем не менее данные сформированной когорты представляют собой базу данных, содержащую тщательно верифицированные сведения, необходимые для доказательной оценки влияния ^{239}Pu на здоровье персонала, задействованного в работах с ним.

В частности, наиболее важными сведениями, необходимыми для выполнения научных исследований в означенном направлении, являются данные

относительно внешнего и внутреннего облучения работников, включенных в когорту СП.

Как было продемонстрировано выше, ИДК внешнего облучения выполнен у 44.2% работников СП, СДВО у 51.82% не превышала 100 мЗв.

ИДК внутреннего облучения выполнялся у 50.4% работников, у 93.34% активность ^{239}Pu в моче не превышала 0.74 Бк.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сформированная когорта работников СП СХК, задействованных в работе с ^{239}Pu в период 1953–2000 гг., несмотря на относительно небольшой размер, может являться информационной основой для изучения неблагоприятного влияния означенного радионуклида на здоровье персонала, с ним контактирующего, и получения научных сведений, обладающих должной степенью доказательности.

Помимо этого, достоинством данной когорты является наличие полной дозиметрической и медико-биологической характеристики регистрантов, что позволяет объединить ее с аналогичными когортами других ОИАЭ при проведении широкомасштабных эпидемиологических исследований.

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”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Определение содержания плутония-239 и обогащенного урана в моче при их совместном присутствии. Аналитическая инструкция. Институт биофизики МЗ СССР. М., 1977. 13 с. [Determination of the content of plutonium-239 and enriched uranium in urine when they are present together. Analytical instructions. Institute of Biophysics, USSR Ministry of Health. M., 1977. 13 p. (In Russ.)].
2. Голутвина М.М., Садикова Н.М. Контроль за содержанием радиоактивных веществ в организме человека. М.: Атомиздат, 1979. 123 с. [Golutvina M.M., Sadikova N.M. Control over the content of radioactive substances in the human body. M.: Atomizdat, 1979. 123 p. (In Russ.)].
3. Хохряков В.Ф., Сулова К.Г., Романов С.А., Востротин В.В. Легочный клиренс промышленных соединений плутония в отдаленные сроки после начала ингаляции. *Мед. радиология и радиац. безопасность*. 2000;45(2):28–34 [Khokhryakov V.F., Suslova K.G., Romanov S.A., Vostrotin V.V. Pulmonary clearance of industrial plutonium compounds in remote periods after the beginning of

- inhalation. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2000;45(2):28–34 (In Russ.).]
4. Блинов А.П., Алпатов А.А., Горина Г.В. и др. Результаты исследования по выведению плутония из организма под воздействием пентацина при ингаляционном поступлении нуклида. *Вопросы радиационной безопасности*. 2020;2:55–65 [Blinov A.P., Alpatov A.A., Gorina G.V. et al. Analysis of pentacium-assisted plutonium excretion at inhalation intake of the radionuclide. *Radiation Safety Problems*. 2020;2:55–65 (In Russ.)].
 5. Tirmarche M., Apostoaiei I., Blanchardon E. et al. ICRP Publication 150: Cancer Risks from Plutonium and Uranium Exposure. *Ann. ICRP*. 2021;50(4):141–143. <https://doi.org/10.1177/01466453211028020>
 6. Хохряков В.Ф., Суслова К.Г., Востротин В.В., Романов С.А. Адаптация модели легочного клиренса МКРЗ–66 к данным о кинетике обмена плутония у персонала “Маяка”. *Мед. радиология и радиац. безопасность*. 2001;46(6):76–83 [Khokhryakov V.F., Suslova K.G., Vostrotin V.V., Romanov S.A. Adaptation of the ICRP–66 lung clearance model to data on plutonium metabolism kinetics in the ‘Mayak’ personnel. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2001;46(6):76–83 (In Russ.)].
 7. Khokhryakov V.F., Suslova K.G., Vostrotin V.V. et al. Adaptation of ICRP Publication 66. Respiratory tract model to data of plutonium biokinetics for Mayak workers. *Health Phys.* 2005;88(2):125–132. <https://doi.org/10.1097/01.hp.0000144575.37546.9d>
 8. Bess J.D., Krahenbuhe M.P., Miller S.C. et al. Uncertainties analysis for the plutonium dosimetry model, Doses–2005, using Mayak bioassay data. *Health Phys.* 2007;93 (3):207–219. <https://doi.org/10.1097/01.HP.0000266741.42070.e8>
 9. 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.-Gen. Tox. En.* 2021;866:503348. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2021.503348>
 10. Thandra K.C., Barsouk A., Saginala K. et al. Epidemiology of lung cancer. *Contemp. Oncol. (Pozn)*. 2021;25(1):45–52. <https://doi.org/10.5114/wo.2021.103829>
 11. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR): Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2006 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume I. Annex B: Epidemiological evaluation of cardiovascular disease and other non-cancer diseases following radiation exposure. ed. New York: UNSCEAR, 2008.
 12. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR): Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2010 Report to the General Assembly with Scientific Report: Summary of Low-Dose Radiation Effects on Health. ed. New York: United Nations, 2013.
 13. Bouville A., Kryuchkov V. Increased occupational radiation doses: nuclear fuel cycle. *Health Phys.* 2014;106(2):259–271. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000000066>
 14. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR): Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. V. I. Annex B: Exposures of the Public and Workers from Various Sources of Radiation. ed. New York: UNSCEAR, 2010.
 15. National Research Council (NRC): Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation. BEIR VII Phase 2. Washington, DC: NRC, National Academies Press, 2006.
 16. International Agency for Research on Cancer (IARC): Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Ionizing radiation, part 1: X-ray and gamma-radiation, and neutrons. Lyon, France: World Health Organization, International Agency for Research on Cancer, 2000.
 17. International Agency for Research on Cancer (IARC): Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Some Internally Deposited Radionuclides. International Agency for Research on Cancer ed., vol. 78. Lyon, France: World Health Organization, International Agency for Research on Cancer, 2001.
 18. Calabrese E.J., O’Connor M.K. Estimating risk of low radiation doses – a critical review of the BEIR VII report and its use of the linear no-threshold (LNT) hypothesis. *Radiat. Res.* 2014;182(5):463–474. <https://doi.org/10.1667/RR13829.1>
 19. Zablotska L.B., Ashmore J.P., Howe G.R. Analysis of mortality among Canadian nuclear power industry workers after chronic low-dose exposure to ionizing radiation. *Radiat. Res.* 2004;161(6):633–641. <https://doi.org/10.1667/rr3170>
 20. Howe G.R., Zablotska L.B., Fix J.J. et al. Analysis of the mortality experience amongst U.S. nuclear power industry workers after chronic low-dose exposure to ionizing radiation. *Radiat. Res.* 2004;162(5):517–526. <https://doi.org/10.1667/rr3258>
 21. Muirhead C.R., O’Hagan J.A., Haylock R.G. et al. Mortality and cancer incidence following occupational radiation exposure: third analysis of the National Registry for Radiation Workers. *Br. J. Cancer*. 2009;100(1):206–212. <https://doi.org/10.1038/sj.bjc.6604825>
 22. Gillies M., Richardson D.B., Cardis E. et al. Mortality from circulatory diseases and other non-cancer outcomes among nuclear workers in France, the United Kingdom and the United States. *Radiat. Res.* 2017;188(3):276–290. <https://doi.org/10.1667/RR14608.1>
 23. Hunter N., Kuznetsova I.S., Labutina E.V., Harrison J.D. Solid cancer incidence other than lung, liver and bone in Mayak workers: 1948–2004. *Br. J. Cancer*. 2013;109(7):1989–1996. <https://doi.org/10.1038/bjc.2013.543>
 24. Gillies M., Haylock R. The cancer mortality and incidence experience of workers at British Nuclear Fuels plc, 1946–2005. *J. Radiol. Prot.* 2014;34(3):595–623. <https://doi.org/10.1088/0952-4746/34/3/595>

Characteristics of the Cohort of Personnel of the Sublimate Production of the Siberian Chemical Plant Involved in Working with Plutonium-239

D. E. Kalinkin^{1,2,*}, G. V. Gorina¹, O. V. Litvinova¹, I. V. Milto^{1,2}, A. R. Takhaouov¹,
L. R. Takhaouova^{1,2}, Yu. A. Samoilova³, A. B. Trivozhenko³,
V. A. Avkhimenko³, R. M. Takhaouov^{1,2}

¹Seversk Biophysical Research Center
of the Federal Medical-Biological Agency, Seversk, Russia

²Siberian State Medical University, Tomsk, Russia

³Siberian Federal Scientific Clinical Center
of the Federal Medical-Biological Agency, Seversk, Russia

*E-mail: mail@sbrc.seversk.ru, kalinkin750@gmail.com

²³⁹Pu has the property of initiating radiogenic diseases in workers who come into contact with it during their professional activities. To study adverse medical and biological effects and to study in detail the potential consequences of plutonium exposure on the body of personnel at nuclear energy facilities, it is necessary to form a cohort of people involved in working with this isotope. The purpose of the study is to form and characterize a cohort of Siberian Chemical Plant sublimation production employees involved in working with ²³⁹Pu in the period 1953–2000. The source of information for forming the cohort was the database of the regional medical and dosimetric register of the population of closed administrative-territorial formation Seversk and the personnel of the Siberian Chemical Plant, containing personal, dosimetric, medical and biological information regarding all current and former employees of the Siberian Chemical Plant (about 65,000 people) since the founding of the enterprise till now. As part of this work, a cohort of sublimation production employees involved in working with ²³⁹Pu 9 in 1953–2000 was formed (1,052 people, 577 men and 475 women). The dosimetric, medical and biological characteristics of workers included in the sublimation production cohort are given. The created sublimation production cohort will make it possible to conduct comprehensive retrospective and prospective epidemiological studies to assess the morbidity and mortality of nuclear energy facilities employees, as well as to draw scientifically based conclusions regarding the role of ²³⁹Pu in the initiation of the most important socially significant non-infectious diseases (for example, malignant neoplasms, diseases of the circulatory system etc.) and mortality from these diseases. The scientific data obtained as a result of this study will make it possible to determine the main directions for organizing a system for assessing risks to the health of personnel at sites for the decommissioning of nuclear facilities and the formation of a set of measures aimed at improving the health-saving system of nuclear facilities employees and extending their working longevity.

Keywords: ²³⁹Pu, personnel of the sublimate production

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Калинкин Дмитрий Евгеньевич (Kalinkin Dmitry Evgenievich), kalinkin750@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-6948-6075>

Горина Галина Викторовна (Gorina Galina Viktorovna), gorina.gal@mail.ru,
<https://orcid.org/0009-0004-7019-6843>

Литвинова Олеся Владимировна (Litvinova Olesya Vladimirovna), litvinovaspironova@mail.ru,
<https://orcid.org/0009-0003-5395-4297>

Мильто Иван Васильевич (Milto Ivan Vasilievich), milto_bio@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-9764-4392>

Тахауов Анас Равильевич (Takhaouov Anas Ravilievich), Anas.t@inbox.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-8712-5815>

Тахауова Лилия Равильевна (Takhaouova Liliya Ravilievna), tahauovaa@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-6261-9795>

Самойлова Юлия Александровна (Samoilova Yulia Alexandrovna), samoilovaua@med.tomsk.ru,
<https://orcid.org/0009-0000-6407-7945>

Тривоженко Александр Борисович (Trivozhenko Alexandr Borisovich), borisah@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-6449-9523>

Авхименко Виктор Александрович (Avkhimenko Viktor Aleksandrovich), kb81@med.tomsk.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-2178-601X>

Тахауов Равиль Манихович (Takhaouov Ravil Manikovich), niirm2007@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-1994-957X>

Вклад авторов. Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

The authors declare that there are no obvious or potential conflicts of interest related to the publication of this article.