

Р.М. Тахауов^{1,2}, Д.Е. Калинин^{1,2}, А.П. Блинов¹, Г.В. Горина¹, О.В. Литвинова¹, И.В. Мильто^{1,2}

ДОЗИМЕТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОГОРТЫ ПЕРСОНАЛА СИБИРСКОГО ХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА В ПЕРИОД 1950–2010 гг.

¹Северский биофизический научный центр ФМБА России, Северск

²Сибирский государственный медицинский университет Минздрава России, Томск

Контактное лицо: Иван Васильевич Мильто, e-mail: mail@sbrc.seversk.ru

РЕФЕРАТ

Цель: Дать дозиметрическую характеристику персонала Сибирского химического комбината (СХК), подвергавшегося длительному техногенному профессиональному облучению ионизирующим излучением (ИИ) в период 1950–2010 гг., а также когорты персонала СХК, задействованного в работе с соединениями урана.

Материал и методы: СХК является одним из крупнейших и старейших в мире комплексов предприятий атомной отрасли, имеющий опыт непрерывного дозиметрического наблюдения за персоналом на протяжении более чем 60 лет. База данных регионально-го медико-дозиметрического регистра персонала СХК содержит сведения обо всех работниках СХК за всю историю деятельности предприятия, в т. ч. персональные данные медицинского, дозиметрического и профессионального характера 65 350 работников СХК, из которых более 32 000 человек подвергались хроническому техногенному профессиональному облучению в диапазоне малых доз. Архив медицинской документации Северского биофизического научного центра (СБН) содержит 55 569 историй болезни работников СХК, 29 800 амбулаторных карт и 11 953 протокола аутопсии.

Результаты: Работники радиохимического, плутониевого, сублиматного и разделительного производств СХК подвергались сочетанному (внешнему и внутреннему) облучению, в то время как персонал реакторного производства подвергался исключительно внешнему облучению. Работники вспомогательного производства в основном подвергались воздействию нерадиационных факторов. Индивидуальный дозиметрический контроль (ИДК) внешнего облучения проводили для всех работников, находившихся в зоне воздействия источников внешнего облучения. Средняя накопленная доза внешнего облучения для работников СХК была 28,3 мЗв. ИДК внутреннего облучения осуществляли для всех работников, занятых на участке производства, на котором выявляли превышение регламентного уровня концентрации радионуклидов в воздухе рабочей зоны. Среднее значение активности радионуклидов в моче работников СХК не превышает 0,74 Бк. Жизненный статус уточнен в отношении 80,8 % работников СХК. Около 3 500 работников СХК имеют ИДК внутреннего облучения от урана по результатам биофизического обследования. Жизненный статус установлен для 75 % работников урановой когорты.

Заключение: Впервые дана дозиметрическая характеристика когорты из 65 350 работников СХК (21 % женщины), которые приступили к работе в период 1950–2010 гг. Когорта персонала СХК соответствует необходимым требованиям для проведения эпидемиологических исследований с целью установления рисков, связанных с воздействием на организм человека техногенного профессионального облучения ИИ.

Ключевые слова: профессиональное облучение, ионизирующее излучение, уран, плутоний, дозиметрические данные

Для цитирования: Тахауов Р.М., Калинин Д.Е., Блинов А.П., Горина Г.В., Литвинова О.В., Мильто И.В. Дозиметрическая характеристика когорты персонала Сибирского химического комбината в период 1950–2010 гг. // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2023. Т. 68. № 2. С. 85–91. DOI:10.33266/1024-6177-2023-68-2-85-91

R.M. Takhauov^{1,2}, D.E. Kalinkin^{1,2}, A.P. Blinov¹, G.V. Gorina¹, O.V. Litvinova¹, I.V. Milto^{1,2}

Dosimetric Characteristics of the Cohort of the Siberian Chemical Plant Personnel in the Period 1950–2010

¹Seversk Biophysical Research Center, Seversk, Russia

²Siberian State Medical University, Tomsk, Russia

Contact person: I.V. Milto, e-mail: mail@sbrc.seversk.ru

ABSTRACT

Purpose: To give a dosimetric characterization of the personnel of the Siberian Chemical Plant (SCP) subjected to prolonged technogenic occupational exposure to ionizing radiation (IR) in the period 1950–2010, as well as the cohort of the personnel of the SCP involved in working with uranium compounds.

Material and methods: SCP is one of the largest and oldest complexes of nuclear industry enterprises in the world, having experience in continuous dosimetric monitoring of personnel for more than 60 years. The database of the regional medical-dosimetric register of employees of the SCP (RMDR) contains information about all employees of the SCP for the entire history of the enterprise, including personal data of medical, dosimetric and professional nature of 65.350 employees of the SCP, of which more than 32.000 people were exposed to chronic technogenic occupational radiation in the range of low doses. The archive of the medical documentation of the Seversk Biophysical Research Center contains 55.569 medical histories of the employees of the SCP, 29.800 outpatient records and 11.953 autopsy protocols.

Results: Employees of the radiochemical, chemical-metallurgical, sublimate and separation industries of the SCP were subjected to combined (external and internal) irradiation, while the personnel of the reactor production were exposed exclusively to external irradiation. Auxiliary production workers were mainly exposed to non-radiation factors. Individual dosimetric control (IDC) of external exposure was carried out for all workers who were in the zone of exposure to external radiation sources. The average accumulated dose of external radia-

tion for employees of the SCP was 28.3 mSv. IDC of internal irradiation was carried out for all workers employed at the production site, where the excess of the regulatory level of the concentration of radionuclides in the air of the working area was detected. The average value of the activity of radionuclides in the urine of SCP workers does not exceed 0.74 Bq. The life status has been clarified for 80.8 % of the employees of the SCP. About 3.500 employees of the agricultural complex have an IDC for internal irradiation from uranium based on the results of a biophysical examination. The life status is established for 75 % of employees of the uranium cohort.

Conclusion: For the first time, a dosimetric characteristic of a cohort of 65.350 workers of the SCP (21 % women) who started work in the period 1950–2010 was given. The cohort of the staff of the SCP is suitable for conducting epidemiological studies in order to establish the risks associated with the impact on the human body of technogenic occupational exposure to IR.

Keywords: occupational exposure, ionizing radiation, uranium, plutonium, dosimetric data

For citation: Takhauov RM, Kalinkin DE, Blinov AP, Gorina GV, Litvinova OV, Milto IV. Dosimetric Characteristics of the Cohort of the Siberian Chemical Plant Personnel in the Period 1950–2010. Medical Radiology and Radiation Safety. 2023;68(2):85–91. (In Russian). DOI:10.33266/1024-6177-2023-68-2-85-91

Введение

Канцерогенные эффекты радиационного воздействия хорошо известны и оценены в различных популяциях [1, 2]. При этом остается множество неопределенностей относительно степени выраженности эффектов воздействия ионизирующего излучения (ИИ) в диапазоне малых доз. Для прогнозирования рисков у работников объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) международные организации рекомендуют применять линейную беспороговую модель [1], которая предполагает линейную зависимость доза–эффект. Однако результаты современных эпидемиологических исследований зачастую противоречат этой модели [3]. Таким образом, существует необходимость проведения широкомасштабных эпидемиологических исследований работников, подвергавшихся хроническому внешнему профессиональному техногенному облучению ИИ, для получения более обоснованных оценок рисков.

Отдельные исследования работников, подвергавшихся профессиональному облучению в диапазоне малых доз ИИ, имеют низкую статистическую мощность для выявления рисков [4], поэтому представляется необходимым проведение исследований, объединяющих указанные категории работников различных ОИАЭ. Большинство опубликованных работ содержат данные анализа радиационных рисков у работников предприятий ядерно-топливного цикла (ЯТЦ), которые осуществляли свою профессиональную деятельность на атомных реакторах. Современный анализ когорт персонала ОИАЭ явно свидетельствует о значимом повышении риска заболевания солидными раками и лейкемией при внешнем облучении (гамма-излучение) и противоречиво о повышении риска болезней системы кровообращения и онкологических заболеваний органов дыхания [5, 6]. В последние несколько лет получены важные доказательства относительно рисков внешнего и внутреннего облучения, преимущественно от плутония [7].

Работники, занятые на производстве по измельчению урановой руды, изготовлению топлива, реконверсии, составляют около 10–15 % от всей численности работников предприятий ЯТЦ [8]. Средние годовые эффективные дозы облучения в этой группе зарегистрированы на уровне 10 мЗв по сравнению с < 5 мЗв для других работников предприятий ЯТЦ [9]. Таким образом, складывается консенсус в отношении того, что облучение работников в ураноперерабатывающей промышленности существенно отличается от облучения работников других ОИАЭ, и что эти работники должны быть тщательно оценены в отдельных исследованиях.

На сегодняшний день лишь в нескольких исследованиях были изучены риски облучения персонала в ураноперерабатывающей промышленности [7, 10–13], еще меньше проведенных исследований зависимости доза–эффект у работников, занятых на переработке урана с индивидуальными дозами облучения [11–14]. Эти

исследования показали противоречивые результаты, что потребовало дальнейших исследований в этой области.

В отчете НКДАР ООН были рассмотрены опубликованные эпидемиологические исследования эффектов внутреннего облучения за счет соединений урана. В дополнение к известным эффектам важно оценить долгосрочные последствия для здоровья от облучения соединениями урана, которые зависят от степени его обогащения, растворимости химических веществ и способа инкорпорации. Органами, наиболее подверженными химической токсичности урана, являются почки [15].

Когорта персонала Сибирского химического комбината (СХК) идеально подходит для установления онкологических рисков, связанных с хроническим внешним профессиональным техногенным облучением ИИ.

Целью работы является дозиметрическая характеристика персонала СХК, а также когорты персонала, задействованного в работе с соединениями урана, при длительном техногенном профессиональном облучении ИИ.

Материал и методы

СХК располагается в г. Северске (Россия) недалеко от областного центра – г. Томска и ведет свою историю с 1950 г. В структуру СХК входят предприятия основного производства (ОП) – (реакторное (РП), радиохимическое (РХП), плутониевое (ПП), сублиматное (СП) и раздельное (РдП)), а также предприятия вспомогательного производства (ВП).

Персонал четырех производств СХК (РХП, ПП, СП и РдП) подвергается сочетанному (внешнее и внутреннее) облучению ИИ. Персонал РП подвергается исключительно внешнему облучению ИИ и может служить группой контроля при оценке вклада внутреннего облучения в формирование радиационно обусловленных эффектов. Только внешнему облучению подвергались 14 959 работников, только внутреннему – 2 426 работников, 6 923 работника контролировались как по внешнему, так и по внутреннему облучению.

В дополнение к ИИ работники ОП СХК подвергались воздействию различных химических и физических производственных факторов, таких как азотная кислота, серная кислота, аммиак, сварочные аэрозоли, угольная и древесная пыль, шум, вибрация, повышенная температура. Уровень химических и физических факторов измерялась на рабочих местах в соответствии с действующими нормативными документами, регламентирующими предельно допустимые уровни или концентрации производственных факторов.

Работники ВП СХК подвергались преимущественно воздействию нерадиационных физических и химических производственных факторов, таких как серная кислота, угольная и древесная пыль, сварочные аэрозоли, оксиды железа и марганца, ксилол, ацетон, уайт-спирит, шум, вибрация, повышенная температура. В период

выполнения ремонтных работ на предприятиях ОП работники ВП могли также подвергаться внешнему и внутреннему облучению ИИ.

Основой для проведения исследования служила информация, содержащаяся в базе данных регионального медико-дозиметрического регистра населения ЗАТО Северск и персонала СХК (далее – РМДР) и архиве медицинской документации Северского биофизического научного центра (далее – СБН Центр). РМДР – это одна из крупнейших в мире исследовательских эпидемиологических баз данных лиц, подвергавшихся длительному радиационному воздействию низкой интенсивности. РМДР представляет собой систему сбора и хранения персональных данных жителей ЗАТО Северск и работников СХК. База данных РМДР содержит сведения обо всех работниках СХК за всю историю деятельности предприятия, в т. ч. персональные данные медицинского, дозиметрического и профессионального характера около 65 350 работников СХК, из которых более 32 000 человек подвергались хроническому профессиональному облучению в диапазоне малых доз ИИ.

База данных РМДР содержит персональную информацию обо всех работниках СХК, зарегистрированных в отделе кадров предприятия с начала работы до момента увольнения или смерти в период 1950–2021 гг. Все данные хранятся в электронном формате и на бумажных носителях в архиве медицинской документации СБН Центра. Медико-биологический блок базы данных РМДР содержит данные о медицинском наблюдении работников СХК, включая информацию о датах и причинах смерти, диагнозах, результатах периодических медицинских осмотров, а также о поведенческих факторах риска (курение, употребление алкоголя) и др.

Архив медицинской документации СБН Центра был создан для оценки долговременных медико-биологических эффектов профессионального облучения. Архив медицинской документации СБН Центра содержит 55 569 историй болезни работников СХК (1976–2021 гг.), 29 800 амбулаторных карт (1952–2021 гг.) и 11 953 протокола аутопсии (1954–2021 гг.).

Дозиметрический контроль внешнего облучения

ИДК внешнего и внутреннего облучения был начат на СХК в 1953 г.; ИДК внешнего облучения проводился для всех работников, находившихся в зоне воздействия источников внешнего облучения или на участках, где работники могли получить дозу облучения, превышающую регламентные уровни, установленные на данный период времени. В период 1953–1972 гг. ИДК по внешнему облучению проводился с использованием фотоплочных дозиметров. С 1972 г. по 1999 г. данный контроль был дополнен методом термолюминесцентной дозиметрии. С 2000 г. с применением метода трековой дозиметрии осуществляется контроль доз от нейтронного излучения. С 2014 г. по настоящее время контроль за внешним облучением персонала (гамма- и нейтронное излучение) ведется с применением метода термолюминесцентной дозиметрии.

ИДК проводился с различной частотой, которая варьировала от еженедельных измерений до одного раза в три месяца, что зависело от характера профессиональной деятельности работника и источников ИИ, с которыми он контактировал. В начальный период работы СХК, когда дозы внешнего облучения могли превышать регламентные уровни, ИДК производился ежедневно. Поскольку считывание отдельных дозиметров может занять некоторое время, работникам с высоким риском воздействия внешнего облучения также были выданы

дозиметры прямого считывания, которые предоставляли актуальную информацию о дозе облучения и ее мощности. Оперативный контроль внешнего облучения проводился в тех случаях, когда допустимые уровни облучения могли быть превышены, а также в случаях, когда они превышали данные ежедневного ИДК. В период 1962–2001 гг. оперативный контроль проводился с использованием конденсаторных ионизационных камер. С 2001 г. по настоящее время применяются метод газоразрядных счетчиков и метод кремниевых полупроводниковых детекторов.

Результаты ИДК по внешнему облучению хранятся на бумажных носителях в дозиметрической картотеке отдела охраны труда, ядерной и радиационной безопасности СХК. Начиная с 2005 г., данные ежегодного ИДК по внешнему облучению СБН Центр получает от СХК в электронном формате.

Дозиметрический контроль внутреннего облучения (изотопы плутония и урана)

Основными дозообразующими радионуклидами для работников СХК являются плутоний и уран. Систематический контроль за содержанием этих альфа-излучающих радионуклидов в организме работников СХК осуществляется специализированной биофизической лабораторией с помощью косвенного метода, основанного на радиохимическом анализе биологических проб (преимущественно мочевых). Метод основан на химическом разделении радионуклидов урана и смеси плутония и америция. Разделение проводилось методом центрифугирования и соосаждения радионуклидов урана с фторидом лантана, а смеси плутония и америция с нитратом висмута. Последующее радиометрическое измерение проводилось в слое твердого сцинтиллятора на низкофоновых альфа-радиометрах.

Биофизическое обследование, устанавливающее содержание/активность урана и плутония в моче, осуществлялось для всех работников СХК одинаково. Мочевые пробы для биофизического исследования у работников СХК брались с момента запуска производства. С 1953 г. определяли содержание (мкг/л) плутония и урана в моче люминесцентным методом, а с 1965 г. по настоящее время определяют активность (нКи) этих радионуклидов радиохимическим методом. Количество работников СХК, которым проводили амбулаторное или стационарное биофизическое обследование, постепенно сокращалось в течение периода 1953–2010 гг. (максимум исследований пришлось на 1960-е гг.).

Один раз в год, как правило, после отпуска, работники СХК контролировались во время планового амбулаторного и/или стационарного обследования, в зависимости от ранее определенного содержания радионуклидов в организме. При превышении регламентного уровня концентрации радионуклидов в воздухе рабочей зоны на определенном участке производства на биофизическое обследование направлялись все работники данного участка. По результатам данного обследования группа разделилась на тех работников, у которых содержание радионуклида в моче было ниже регламентных уровней и тех, у кого это значение превышало нормативный уровень. После ежегодного отпуска тем работникам, у которых содержание радионуклидов в моче было ниже нормативных уровней, проводилось амбулаторное биофизическое обследование, а другой группе – стационарное. В случае амбулаторного обследования работником самостоятельно собирался суточный объем мочи, в которой проводилось определение содержания радионуклидов. Если активность радионуклидов в моче была ниже

регламентного уровня (40 нКи), работник допускался к работе, если значения измерений превышали регламентный уровень, работник направлялся на стационарное обследование в течение трех суток (исследовалась отдельно каждая суточная порция мочи). С целью повышения чувствительности метода и ускорения выведения радионуклида из организма в большинстве случаев применяется комплекс пентацин (Са-ДТПА), который вводится внутривенно. Если содержание радионуклидов плутония и америция не превышало регламентный уровень (40 нКи), работник допускался к выполнению должностных обязанностей.

Данные результатов биофизических обследований на уран и плутоний хранятся в картотеке и электронной базе данных лаборатории внутренней дозиметрии (ранее биофизической лаборатории) Центра гигиены и эпидемиологии № 81 ФМБА России. Копии индивидуальных карт биофизического исследования всех работников СХК, находившихся на ИДК по внутреннему облучению в период 1967–2000 гг., были переданы в СБН Центр и использованы для формирования базы данных РМДР. С 2001 г. результаты ежегодных биофизических обследований работников СХК передаются в СБН Центр в электронном формате.

Результаты и обсуждение

Изученная когорта работников СХК включает 64 934 работника, нанятых в период 1950–2010 гг., из числа которых 53,8 % (34 917 работников) были наняты на 5 предприятий основного производства (РП, РХП, ПП, РдП, СП) и 46,2 % (30 017 работников) – на предприятия вспомогательного производства (табл. 1). Количество работников ОП СХК, находившихся на ИДК по внешнему облучению, составляет 18 797 человек (53,8 %), по внутреннему – 8 575 (24,6 %) (табл. 1).

На 2014 г. жизненный статус уточнен в отношении 80,8 % работников ОП СХК и в отношении 65,7 % работников ВП СХК. Доля женщин, работающих на предприятиях ОП и ВП, составляет соответственно 20,6 и 29,0 %. Помимо данных, представленных в табл. 1, база данных РМДР содержит информацию о профессиях всех работников, местах работы в течение всего периода трудовой деятельности, продолжительности производственного стажа, а также данные о динамике накопления доз внешнего облучения и результатах биофизических обследований.

Средняя накопленная доза внешнего облучения для всех работников СХК, находившихся на ИДК, была 28,3 мЗв. Средняя накопленная доза внешнего облучения среди работников СХК с дозами выше 0 составляла 88,6 мЗв. Жизненный статус уточнен в отношении 80,8 % работников СХК.

В табл. 2 представлена численность работников СХК, находившихся на ИДК по внешнему и внутреннему облучению, в зависимости от предприятия ОП и периода работы. В течение более 60 лет на СХК от 20 до 30 % работников контролировались по внутреннему облучению.

Работники СХК, находящиеся на ИДК по внутреннему облучению в период 1950–2010 гг., у которых зарегистрирована суммарная активность плутония и америция в организме, превышающая 40 нКи, в основном работали на ПП. Во время пика производственной продуктивности в 1970–2000 гг. на СХК ежегодно на дозиметрическом контроле находилось от 1 000 до 2 000 работников.

Численность персонала, контролировавшегося по внутреннему облучению, существенно ниже в сравнении с количеством работников, находившихся на ИДК

по внешнему облучению. В табл. 3 представлено распределение работников СХК, контролировавшихся по внешнему и внутреннему облучению (21 855 и 4 119 работников соответственно). Данные по внешнему облучению относятся ко всем работникам СХК (ОП и ВП), имеющим зарегистрированные индивидуальные дозы внешнего облучения. Категория «0» в таблице 3 содержит данные о работниках, у которых измеренная доза облучения ниже предела обнаружения либо равна «0». Как следует из данных, представленных в табл. 3, более 3/4 работников (78,3 %), подвергавшихся внешнему облучению, имеют суммарную накопленную дозу облучения менее 100 мЗв. Следует отметить, что в исследуемый период деятельности СХК (1950–2010 гг.), на нем не было значимых радиационных инцидентов, которые могли бы вызвать переоблучение больших групп персонала. Кроме того, дозы облучения прогрессивно снижались с течением времени вследствие совершенствования производственных технологий.

Характеристика урановой когорты персонала СХК

Как отмечалось выше, внутреннему облучению вследствие поступления радионуклидов урана могут подвергаться работники РХП, ПП, РдП и СП (более 3 500 работников).

Следует подчеркнуть, что работники СХК, формирующие урановую когорту, могли подвергаться не только воздействию облучения от соединений урана, но и внешнему облучению (приблизительно 60 % когорты), а также внутреннему облучению за счет инкорпорированного плутония. В отдельных случаях основной вклад в дозовую нагрузку может быть внесен внутренним облучением работника, обусловленным поступлением радионуклидов урана. Это касается преимущественно работников СП и РдП. В когорту включены работники, которые имеют данные амбулаторного и/или стационарного биофизического обследования и результаты измерений содержания урана в моче или рассчитанные значения содержания радионуклида в организме.

В табл. 4 представлена характеристика работников СХК, подвергавшихся внутреннему облучению за счет поступления радионуклидов урана. Большинство работников, имеющих данные индивидуальных измерений урана в моче, имеют содержание радионуклида не превышающее 0,74 Бк (диапазон: 0–255,4 Бк). В табл. 4 также представлено распределение работников данной когорты в зависимости от содержания радионуклида в моче и суммарной накопленной дозы внешнего облучения. Жизненный статус установлен для 75 % работников урановой когорты.

Заключение

Когорта работников СХК является крупнейшей когортой персонала атомной отрасли в России и одной из крупнейших когорт в мире. С момента начала деятельности предприятия работники СХК подвергались воздействию радиационных и нерадиационных производственных факторов, которое контролировалось, начиная с 1953 г.

В работе приведена дозиметрическая характеристика когорты персонала СХК, подвергавшегося длительному техногенному профессиональному облучению ИИ, за более чем 60-летний период, что представляет уникальную возможность проводить исследования по оценке медико-биологических эффектов долговременного профессионального облучения.

Кроме того, сформирована и охарактеризована когорта персонала СХК, задействованного в работе с соеди-

Таблица 1

Характеристика когорты работников СХК, нанятых в период 1950–2010 гг., в зависимости от вида производства
 Characteristics of the cohort of the SCP employees hired in the period 1950–2010, depending on the type of production

Производство	Начало деятельности	Кол-во работников	Возраст найма, лет				Жизненный статус	Контроль внеш. облучения	Возраст увольнения, лет				Контроль внутр. облучения*	Вредные профессиональные факторы
			15–20	20–24	25–29	30–65			< 55	55–64	65–74	75+		
РП	1955	8 002	15–20	2 160	Известен: 6 673 (83,4 %); живы: 4 579, умерли: 2 094, из них от ЗНО: 368 (17,6 %)				5 907 (73,8 %)	< 55	5 008	–	γ- и нейтронное излучение, шум, абразивная пыль, ксилол, толуол и др. углеводороды	
			20–24	3 206										
			25–29	1 475										
			30–65	1 161										
РХП	1961	6 232	15–20	1 836	Известен: 5 296 (85,0 %); живы: 3 769, умерли: 1 527, из них от ЗНО: 254 (16,6 %)				5 227 (83,8 %)	< 55	4 251	α-активные аэрозоли U и Pu, α-, β- и γ-радиоактивные нуклиды, α-, β- и γ-излучение, вредные химические вещества, шум		
			20–24	2 279										
			25–29	952										
			30–65	1 165										
ПП	1961	9 666	15–20	3 086	Известен: 8 487 (87,8 %); живы: 6 338, умерли: 2 149, из них от ЗНО: 439 (20,4 %)				3 904 (40,4 %)	< 55	3 101	α-активные аэрозоли U и Pu, ионизирующее и электромагнитное излучение, вредные химические вещества, пыль, шум		
			20–24	2 967										
			25–29	1 477										
			30–65	2 136										
РдП	1953	6 431	15–20	2 542	Известен: 4 530 (70,4 %); живы: 3 003, умерли: 1 527, из них от ЗНО: 299 (19,6 %)				1 424 (22,1 %)	< 55	961	α-активные аэрозоли U и Pu, фтор, фтористый водород, сварочные аэрозоли, бензин, ацетон, аммиак, шум, повышенные температуры		
			20–24	1 991										
			25–29	882										
			30–65	1 016										
СП	1954	4 586	15–20	1 433	Известен: 3 229 (70,4 %); живы: 2 124, умерли: 1 105, из них от ЗНО: 205 (18,6 %)				2 335 (50,9 %)	< 55	1 936	α-активные аэрозоли U и Pu, газообразный гексафторид Урана; α-, β-, нейтронное излучение, фтор, фтористый водород		
			20–24	1 630										
			25–29	770										
			30–65	753										
Все предприятия ОП		34 917	15–20	11 057	Известен: 28 215 (80,8 %); живы: 19 813, умерли: 8 402, из них от ЗНО: 1 565 (18,6 %)				18 797 (53,8 %)	< 55	15 255	серная кислота, угольная и древесная пыль, сварочные аэрозоли, ксилол, ацетон, уайт-спирит, шум, вибрация, повышенные температуры		
			20–24	12 073										
			25–29	5 556										
			30–65	6 231										
ВП	1954–1961	30 017	15–20	10 749	Известен: 19 731 (65,7 %); живы: 13 207, умерли: 6 524, из них от ЗНО: 1 382 (21,2 %)				3 058 (10,2 %)	< 55	2 559			
			20–24	4 962										
			25–29	4 962										
			30–65	5 765										

Примечание: * – приведено количество работников, контролирувавшихся по внутреннему облучению (по данным биофизического обследования)

Таблица 2

Количество работников СХК, находившихся на индивидуальном дозиметрическом контроле в период 1950–2010 гг., в зависимости от предприятия и периода контроля

The number of employees of the SCP who were under individual dosimetric control in the period 1950-2010, depending on the company and the period of control

Период, годы	Количество контролируемых / общая численность (%)					
	РП	РХП	ПП	СП	РдП	Все предприятия
Внешнее облучение						
1953–1959	785/1 230 (63,8)	75/815 (9,2)	31/333 (9,3)	203/1 436 (14,1)	3/2 411 (0,1)	1 097/6 225 (17,6)
1960–1969	3 358/4 592 (73,1)	2 742/3 454 (79,4)	324/4 283 (7,6)	396/1 961 (20,2)	36/3 054 (1,2)	6 856/17 344 (39,5)
1970–1979	2 860/3 970 (72,0)	2 434/2 920 (83,4)	1 055/4 604 (22,9)	861/2 149 (40,1)	28/2 885 (1,0)	7 238/16 528 (43,8)
1980–1989	2 299/3 376 (68,1)	1 914/2 268 (84,4)	1 536/4 611 (33,3)	546/1 848 (29,5)	75/2 633 (2,8)	6 370/14 736 (43,2)
1990–1999	1 513/2 403 (63,0)	1 606/1 909 (84,1)	1 162/3 751 (31,0)	411/1 490 (27,6)	95/2 110 (4,5)	4 787/11 663 (41,0)
2000–2010	1 366/1 758 (77,7)	1 567/1 780 (88,0)	2 077/3 114 (66,7)	870/1 386 (62,8)	1 188/2 004 (59,3)	7 068/10 042 (70,4)
Внутреннее облучение						
1956–1959	0	0/815 (0,0)	1/333 (0,3)	45/1 436 (3,1)	0/2 411 (0,0)	46 / 6 225 (0,7)
1960–1969	0	305/3 454 (8,8)	546/4 283 (12,7)	356/1 961 (18,2)	3/3 054 (0,1)	1 210/17 344 (7,0)
1970–1979	0	908/2 920 (31,1)	1 987/4 604 (43,2)	775/2 149 (36,1)	426/2 885 (14,8)	4 096/16 528 (24,8)
1980–1989	0	1 172/2 268 (51,7)	2 186/4 611 (47,4)	701/1 848 (37,9)	407/2 633 (15,5)	4 466/14 736 (30,3)
1990–1999	0	971/1 909 (50,9)	1 650/3 751 (44,0)	85/1 490 (5,7)	36/2 110 (1,7)	2 742/11 663 (23,5)
2000–2010	0	918/1 780 (51,6)	1 886/3 114 (60,6)	206/1 386 (14,9)	162/2 004 (8,1)	3 172/8 284 (38,3)

Таблица 3

Распределение работников СХК, находившихся на индивидуальном дозиметрическом контроле в период 1950–2010 гг., в зависимости от пола, суммарной накопленной дозы внешнего облучения и содержания плутония в моче

Distribution of employees of the SCP who were under individual dosimetric control in the period 1950-2010, depending on gender, the total accumulated dose of external radiation and the content of plutonium in urine

Суммарная накопленная доза внешнего облучения, мЗв							
	0	(0–100]	(100–200]	(200–500]	(500–1 000]	> 1 000	Всего
Мужчины	470 (2,6 %)	13 093 (73,0 %)	1 916 (10,7 %)	1 841 (10,3 %)	533 (3,0 %)	81 (0,5 %)	17 934
Женщины	105 (2,7 %)	3 444 (87,8 %)	266 (6,8 %)	102 (2,6 %)	4 (0,1 %)	–	3 921
Всего	575 (2,6 %)	16 537 (75,7 %)	2 182 (10,0 %)	1 943 (8,9 %)	537 (2,5 %)	81 (0,4 %)	21 855
Содержание плутония в моче, Бк							
	[0–0,046]	(0,046–0,74]	(0,74–1,48]	(1,48–3,70]	> 3,70		Всего
Мужчины	844 (23,1 %)	2 047 (56,0 %)	249 (6,8 %)	235 (6,4 %)	281 (7,7 %)		3 656
Женщины	333 (39,2 %)	465 (54,8 %)	31 (3,7 %)	13 (1,5 %)	7 (0,8 %)		849
Всего	1 177 (26,1 %)	2 512 (55,8 %)	280 (6,2 %)	248 (5,5 %)	288 (6,4 %)		4 505

Таблица 4

Характеристика урановой когорты работников СХК нанятых в период 1950–2010 гг.

Characteristics of the uranium cohort of SCP employees hired in the period 1950-2010

Показатель	Пол	РХП	ПП	РдП	СП	ВП	Всего
Общее количество работников	М/Ж	238/70	1 877/533	353/113	637/134	80/57	
	Всего	308	2,410	542	821	137	4 218
Численность работников с данными амбулаторного биофизического обследования	М/Ж	119/18	1 337/375	267/164	464/141	50/36	
	Всего	137	1 712	431	605	86	2 971
Численность работников с данными стационарного биофизического обследования	М/Ж	124/53	910/201	70/18	269/56	44/19	
	Всего	177	1 111	88	325	63	1 764
Численность работников, контролировавшихся по внешнему облучению	М/Ж	235/63	1 193/240		122/67	554/150	41/31
	Всего	298	1 433	189	704	72	2 696
Содержание урана в моче, Бк							
Показатель	[0–0,046]	(0,046–0,74]	(0,74–1,48]	(1,48–3,70]	> 3,70		
Мужчины	563	740	72	28	14		
Женщины	162	169	10	2	4		
Всего	725	909	82	30	18		
Суммарная накопленная доза внешнего облучения, мЗв							
Показатель	0	(0–50]	(50–150]	(150–200]	(200–300]	(300–500]	> 500
Мужчины	26	1124	455	119	175	150	96
Женщины	7	393	90	25	23	11	2
Всего	33	1517	545	144	198	161	98

нениями урана, которая содержит уникальные данные, необходимые для установления эффектов долговременного влияния этого радионуклида на организм человека.

Таким образом, когорта работников СХК является уникальным исследовательским ресурсом для оценки эффектов долговременного профессионального облучения в диапазоне малых доз ИИ.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. BEIR VII Phase 2. Washington, DC, NRC, The National Academies Press, 2006. DOI: 10.17226/11340.
2. Epidemiological Studies of Radiation and Cancer. VI. Annex A. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. New York, UNSCEAR, 2008.
3. 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. DOI: 10.1667/RR13829.1.
4. Lane R.S., Frost S.E., Howe G.R., Zablotska L.B. Mortality (1950–1999) and Cancer Incidence (1969–1999) in the Cohort of Eldorado Uranium Workers. *Radiat. Res.* 2010;174;6:773–785. DOI: 10.1667/RR2237.1.
5. Haylock R.G.E., Gillies M., Hunter N., et al. Cancer Mortality and Incidence Following External Occupational Radiation Exposure: An Update of the 3rd Analysis of the Uk National Registry for Radiation Workers. *Brit. J. Cancer.* 2018;119;5:631–637. DOI: 10.1038/s41416-018-0184-9.
6. Richardson D.B., Cardis E., Daniels R.D., et al. Site-Specific Solid Cancer Mortality after Exposure to Ionizing Radiation: A Cohort Study of Workers (INWORKS). *Epidemiology.* 2018;29;1:31–40. DOI: 10.1097/EDE.0000000000000761.
7. 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. DOI: 10.1088/0952-4746/34/3/595.
8. Exposures of the Public and Workers from Various Sources of Radiation. VI. Annex B. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. New York, UNITED NATIONS, 2010.
9. Bouville A., Kryuchkov V. Increased Occupational Radiation Doses: Nuclear Fuel Cycle. *Health Phys.* 2014;106;2:259–271. DOI: 10.1097/HP.0000000000000066.
10. Silver S.R., Bertke S.J., Hein M.J., et al. Mortality and Ionising Radiation Exposures Among Workers Employed at the Fernald Feed Materials Production Center (1951–1985). *Occup. Environ. Med.* 2013;70;7:453–463. DOI: 10.1136/oemed-2012-100768.
11. Yiin J.H., Anderson J.L., Bertke S.J., Tollerud D.J. Dose-Response Relationships between Internally-Deposited Uranium and Select Health Outcomes in Gaseous Diffusion Plant Workers, 1948–2011. *Am. J. Ind. Med.* 2018;61;7:605–614. DOI: 10.1002/ajim.22858.
12. Zhivin S., Guseva Canu I., Davesne E., et al. Circulatory Disease in French Nuclear Fuel Cycle Workers Chronically Exposed to Uranium: A Nested Case-Control Study. *Occup. Environ. Med.* 2018;75;4:270–276. DOI: 10.1136/oemed-2017-104575.
13. Golden A.P., Ellis E.D., Cohen S.S., et al. Updated Mortality Analysis of the Mallinckrodt Uranium Processing Workers, 1942–2012. *Int. J. Radiat. Biol.* 2022;98;4:701–721. DOI: 10.1080/09553002.2019.1569773.
14. Kreuzer M., Dufey F., Laurier D., et al. Mortality from Internal and External Radiation Exposure in a Cohort of Male German Uranium Millers, 1946–2008. *Int. Arch. Occ. Env. Hea.* 2015;88;4:431–441. DOI: 10.1007/s00420-014-0973-2.
15. Biological Effects of Selected Internal Emitters-Uranium. Annex D. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2016 Report to the General Assembly. New York, United Nations, 2017. DOI: 10.18356/2055d684-e.

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. Статья подготовлена с равным участием авторов.

Поступила: 20.11.2022. **Принята к публикации:** 25.01.2023.

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

Financing. The research was carried out within the framework of the state task, the topic of research: «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. Article was prepared with equal participation of the authors.

Article received: 20.11.2022. **Accepted for publication:** 25.01.2023.