DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-2s-31-49
УДК: 614.876:621.039.586(470.55)

Авария 1957 года: радиационная обстановка и дозы облучения участников ликвидации аварии на территории промышленной площадки ПО «Маяк»

Е.К. Василенко[1], Е.Е. Аладова[1], М.В. Горелов[2], В.А. Князев[2], Д.Н. Колупаев[2], С.А. Романов[1]

[1]Южно-Уральский институт биофизики Федерального медико-биологического агентства России, Озёрск, Россия
[2]Производственное объединение «Маяк» Росатом, Озёрск, Россия

Цель исследования: оценить радиационную обстановку на территории промплощадки ПО «Маяк», сформировавшуюся в результате аварии 1957 г., а также дозовые нагрузки на лиц, принимавших участие в ликвидации последствий этой аварии. Материалы и методы: на основании анализа архивных документов, данных журналов радиационной обстановки за 1957–1960 гг., картотеки индивидуального дозиметрического контроля и проведенных расчетов представлены материалы по измеренным и расчетным дозам облучения как работников ПО «Маяк», так и лиц сторонних организаций и воинских частей, привлеченных к ликвидации последствий аварии и охваченных индивидуальным контролем. Результаты: в работах по ликвидации последствий аварии на территории промышленной площадки ПО «Маяк» в 1957–1959 гг. приняли участие 38,5 тыс. человек, включая лиц, облученных непосредственно в момент аварии, а также работников ПО «Маяк», военных и гражданских строителей, принимавших участие в ликвидации последствий аварии. Дозы облучения от 25 до 30 Р получили около 10,5 тыс. человек, при этом имелись случаи облучения в дозах до 100 Р. Заключение: коллективная доза, полученная во время аварии и при ликвидации ее последствий в 1957–1959 гг., составила ≈820 тыс.чел.-Р, из них 457 тыс. чел.-Р за счет облучения военнослужащих и заключенных 10 лаготделения в момент и первые часы после аварии. Коллективные дозы, зарегистрированные в 4 квартале 1957 г., в 1958 и 1959 гг. у участников ликвидации последствий аварии составили 50 тыс.чел.-Р, 250 тыс.чел.-Р и 54 тыс.чел.-Р соответственно.

Ключевые слова: *радиационная авария, зона радиоактивного загрязнения, дозы облучения, дезактивация, мощность экспозиционной дозы, приборы дозиметрического контроля, мероприятия по ликвидации последствий аварии.*

Введение

Прошло уже более 60 лет с тех пор, как произошла первая и одна из наиболее серьезных радиационных аварий в истории атомной промышленности России – выброс радиоактивных веществ в атмосферу в результате взрыва хранившихся на ПО «Маяк» радиоактивных отходов.

Из-за существовавшего в то время режима секретности официальная открытая информация об этой аварии появилась только в 1989 г. Позднее стали выходить многочисленные публикации по этой проблеме, как в отечественной, так и в зарубежной литературе [1, 2, 3].

Однако огромное количество документов, хранящихся в архиве ПО «Маяк» и только в последнее время ставших доступными для изучения и опубликования, раскрывают новые подробности того, в какой сложной радиационной обстановке приходилось работать персоналу ПО «Маяк», специалистам других предприятий и военным строителям, привлеченным к ликвидации последствий аварии, а также какие приемы в работе при этом использовались.

Причиной аварии 1957 г. стали технические неисправности в системе охлаждения технологических емкостей с жидкими высокоактивными отходами, что в итоге привело к взрыву одной из емкостей. В атмосферу было выброшено 740 ПБк (20 МКи) активности средне- и долгоживущих радионуклидов, из которых 10%, т.е. ~74 ПБк (2 МКи), выпало по направлению ветрового движения радиоактивного облака, образовав узкий радиоактивный след протяженностью до 300 км – так называемый Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС), а основная доля ~660 ПБк (18 МКи) осела на близлежащей к месту взрыва территории промышленной площадки ПО «Маяк» [3, 4].

Василенко Евгений Константинович
Южно-Уральский институт биофизики
Адрес для переписки: 456780, г. Озерск, Челябинская область, Озерское шоссе, 19, E-mail: vasilenko@subi.su

Цель исследования – на основе архивных данных оценить радиационную обстановку и дозовые нагрузки на персонал, работников сторонних организаций и воинских частей во время аварийной ситуации 1957 г. и при ликвидации ее последствий на территории промплощадки ПО «Маяк».

Радиационная авария очень осложнила, но не остановила производственную деятельность предприятия, к которой добавился огромный объем работ по ликвидации последствий аварии. К этим работам был привлечен персонал всех заводов, попавших на территорию следа радиоактивного загрязнения. В состав сформированных санитарных отрядов были привлечены работники Южно-Уральского управления строительства и военно-строительных частей. Каждый отряд обеспечивался техникой: бульдозерами, грейдерами, пожарными машинами, экскаваторами, грузовыми автомобилями и автосамосвалами.

В работах по ликвидации последствий аварии на промплощадке ПО «Маяк» приняли участие около 38 500 человек. Все работы выполнялись в соответствии с планом мероприятий, составленным комиссией комбината и утвержденным министром среднего машиностроения СССР Е.П. Славским и начальником управления министерства А.Д. Зверевым [4–6].

Для организации работ был создан штаб под руководством главного инженера ПО «Маяк» Н.А. Семенова. Штаб работал круглосуточно.

Особое внимание уделялось району хранилища радиоактивных отходов, где в первую очередь была проведена отсыпка «чистым» грунтом территории непосредственного очага (места взрыва) и территории между зданиями хранилища как наиболее загрязненных участков, создающих высокий уровень мощностей доз на смежных территориях. Засыпки проводились слоем грунта толщиной 1–2 м, а более «чистые» участки – слоем 0,2–1 м. Всего в районе хранилища было отсыпано 93 500 м^3 чистого грунта [7, 8].

На территории промплощадки с обочин бетонных дорог и с поверхности грунтовых дорог автогрейдерами был снят верхний слой грунта, а вдоль дорог слой грунта толщиной 5–10 см был отодвинут бульдозерами на расстояние 25–30 м. Работы по отмывке дорог, кровель зданий и т.п. проводились с привлечением пожарной техники и работников пожарной охраны.

Проведенный комплекс работ позволил к 30.03.1958 г. снизить мощность дозы в районе хранилища высокоактивных отходов в 500 раз, а работы по дезактивации территории заводов и промплощадки были закончены к концу 1959 г. [9].

Выполнение значительных объемов работ в короткие сроки в условиях сложной радиационной обстановки привело к высоким уровням внешнего облучения как персонала ПО «Маяк», так и лиц, привлеченных к ликвидации последствий аварии 1957 г.

Все материалы, приведенные в статье, имеют документальное подтверждение. Данные по зарегистрированным дозам облучения как работников ПО «Маяк», так и лиц сторонних организаций и воинских частей, привлеченных к ликвидации последствий аварии и охваченных индивидуальным контролем, взяты из архива ПО «Маяк» и архива индивидуального дозиметрического контроля (ИДК) отдела радиационной безопасности. В связи с тем, что данные по дозам облучения военных и гражданских строителей за период ликвидации аварии (приблизительно на 13,5 тысяч человек) хранятся в архиве ИДК на бумажных носителях [8–23] и до настоящего времени данные не оцифрованы, информация об измеренных дозах этого контингента ликвидаторов представлена на основании обобщенных отчетных документов за 1957–1959 гг.

Поиском и обработкой материалов из архивных документов об аварии в течение нескольких лет в начале 1990-х гг. занимались старейшие работники службы дозиметрии ПО «Маяк», участвовавшие в ликвидации последствий этой аварии и знающие сложившуюся ситуацию изнутри, а не понаслышке: А.Ф. Лызлов, Л.А. Думенек, В.И. Синицын, Э.С. Котов, Е.И. Андреев, а также работники Филиала №1 Института биофизики (ФИБ-1) под руководством Э.Р. Любчанского. За это им большая благодарность.

Приведенные в статье данные по радиационной обстановке и дозам облучения персонала основаны на показаниях приборов дозиметрического контроля, применявшихся в то время: пленочные дозиметры ИФК, ИФК со свинцовым фильтром, радиометры ПР-1 «Карагач», ПМР-1, РУП-1 (Россия).

Значения измеренных физических величин представлены в тех единицах, в которых они записаны в архивных документах (экспозиционная доза излучения – рентген (Р), мощность экспозиционной дозы излучения – рентген в час (Р/ч) или микрорентген в секунду (мкР/с), так как перевод в современную дозиметрическую систему, например, в дозу на глубине 1 г/см^2 ткани ($H_{p(10)}$), требует разработки и реализации определенных методик, что будет выполнено при дальнейших исследованиях.

Для формального перевода доз облучения, выраженных в Р, в поглощенную дозу в мягкой биологической ткани (сГр) экспозиционную дозу облучения работников или их коллективную дозу необходимо умножить на коэффициент 0,96.

Радиационная обстановка на промышленной площадке

Взрыв емкости с радиоактивными отходами завода 25[1] произошел в воскресенье 29 сентября 1957 г. в 16:20 по местному времени. Стояла сухая теплая погода.

След от радиоактивного облака прошел по территории заводов 25, 35[2], 45[3], 24[4], 37[5], 22[6], цеха сетей и подстанций (ЦСП), энергоцеха (ЭНЦ), пожарной части ВПЧ-3, через 10-е лаготделение осужденных и военный городок

[1] Завод 25 – радиохимический завод [radiochemical plant];

[2] Завод 35 – строящийся (не введенный на момент аварии) новый радиохимический завод [new radiochemical plant under construction not put into operation at the time of the accident];

[3] Завод 45 – радиоизотопный завод [radioisotope plant];

[4] Завод 24 – реакторный завод [reactor plant];

[5] Завод 37 – реакторный завод [reactor plant];

[6] Завод 22 – завод водоподготовки [water treatment plant].

в/ч 20156, 25529, 3445, расположенных в 3–3,5 км от места взрыва, и пересек участок зоны промышленной площадки между 1-й и 9-й заставами в/ч 3445 [17]. Персонал, находящийся в это время на территории и в промышленных зданиях указанных подразделений, подвергся радиоактивному загрязнению и облучению.

Облучению в момент взрыва за счет прохождения радиоактивного облака и загрязнения территории подверглись около 5100 человек, в том числе:

– сменный персонал заводов 25, 24, 37, 22 – 228 человек;
– военно-пожарная часть ВПЧ-3 – 22 человека;
– военные строители в/ч 20156 и 25529 – 3115 человек;
– личный состав в/ч 3445 – 730 человек;
– осужденные лаготделения – 1002 человека.

Ширина следа на расстоянии 1–2 км от места взрыва составила 0,5–1 км, а на расстоянии 12 км – 1,5 км. Однако за счет ветрового переноса границы следа расширились. Так, 12.10.1957 г. дул сильный юго-восточный ветер, в результате чего западная граница следа значительно переместилась. Мощность экспозиционной дозы (МЭД) гамма-излучения на оси следа по данным измерений службы дозиметрии на 30.09.1957 г. представлена на рисунке 1.

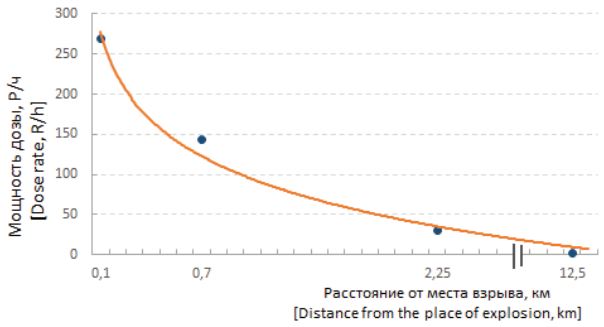


Рис. 1. Мощность экспозиционной дозы гамма-излучения на оси следа аварии 1957 г. (данные измерений на 30.09.1957 г.)
[Fig. 1. Gamma radiation exposure rate on the axis of the track of the accident in 1957 (measurements data on 09/30/1957)]

В зависимости от расстояния до эпицентра взрыва и оси следа МЭД на территории объектов, попавших в зону радиоактивного загрязнения, на 30.09.1957 г. составляла [16, 24]:

– район комплекса хранилищ радиоактивных отходов завода 25 – 360–1000 Р/ч;
– площадка завода 25 в районе технологических цехов – 0,4–8,0 Р/ч;
– площадка завода 35 – 0,1–70 Р/ч;
– площадка завода 45 – 70–75 Р/ч;
– площадка завода 24 – 15–18 Р/ч;
– площадка завода 37 – 1,4 Р/ч;
– площадка завода 22 – 1,5 Р/ч;
– военный городок и лагерь осужденных – 15–18 Р/ч.

Границы следа радиоактивного загрязнения территории промышленной площадки с границей МЭД до 0,01 Р/ч на начало октября 1957 г. показаны на рисунке 2 [8].

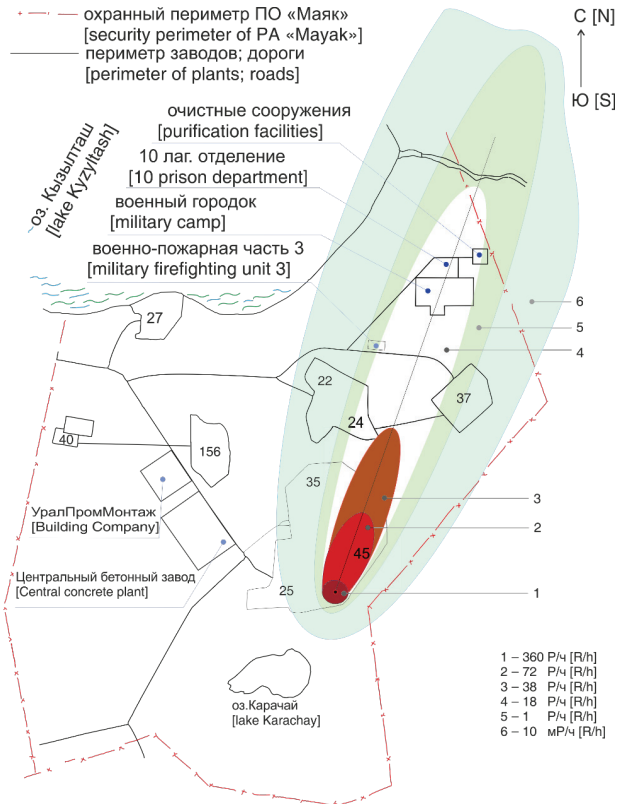


Рис. 2. Границы следа радиоактивного загрязнения территории промышленной площадки ПО «Маяк» на начало октября 1957 г. [8]
[**Fig. 2.** The boundaries of radioactive contamination trace of the industrial site territory in the beginning of October 1957 [8]]

Работы по отсыпке чистым грунтом и дезактивации территории промплощадки проводились круглосуточно. Механизмы работали с «чистого» грунта, не заезжая на загрязненную территорию. В результате проведения работ МЭД в районе комплекса зданий по хранению радиоактивных отходов в марте 1958 г. составила 50–400 мР/ч, а к концу 1958 г. не превышала 20 мР/ч. На промышленной площадке ПО «Маяк» работы по дезактивации зданий и территорий были закончены к концу 1959 г. Анализ данных радиационной обстановки показал, что к началу 1960 г. значение МЭД на рабочих местах в основном не превышало 1 мР/ч [7].

В момент возникновения аварии персонал основных цехов заводов предприятия находился в защитной спецодежде со средствами индивидуального контроля внешнего гамма-излучения. Остальной персонал, попавший на территорию радиоактивного следа, был в личной одежде, без средств контроля и не имел информации о сложившейся обстановке.

Первыми на пути движения радиоактивного облака оказались работавшие в этот момент технологические здания завода 24. Во всех помещениях включилась дозиметрическая сигнализация стационарных приборов. Загрязнение территории промышленной площадки обнаружили дозиметристы заводов, которые сообщили о резком повышении радиационного фона. Об обнаружении аварийного выброса сообщили диспетчеру предприятия.

После сообщений на промплощадку были вызваны ответственные сотрудники предприятия для измерения радиационной обстановки и организации работ по ликвидации последствий аварии.

В ночь на 30.09.1957 г. приборами ПМР-1 и ПР-1 «Карагач» были проведены измерения МЭД территории промплощадки. Было ограничено движение, прекращены строительные и монтажные работы на загрязненных территориях, сняты посты военной охраны, попавшие на след. 30.09.1957 г. был закончен вывод в «чистую» зону военнослужащих военного городка и осужденных 10 лаготделения, а также пожарных расчетов военной пожарной части № 3 (ВПЧ-3). Военнослужащие в/ч 20156 и 25529 к работам по ликвидации аварии впоследствии не привлекались.

Во время аварии 1957 г. и в период ликвидации ее последствий на территории промплощадки ПО «Маяк» дозы облучения персонала и лиц, причастных к этой ситуации, складывались из следующих составляющих.

Во время и в ближайшие часы после аварии:

– внутреннее облучение от ингаляции радионуклидов при прохождении загрязненного облака;

– внешнее облучение гамма-бета-радионуклидами за счет нахождения в зданиях и на территориях, расположенных на следе радиоактивного загрязнения;

– облучение за счет загрязнения одежды до проведения дезактивации после вывода из очага загрязнения.

Наибольшему облучению подверглись военнослужащие в/ч 20156, 25529, 3445 и осужденные 10-го лаготделения, находившиеся в момент взрыва на открытом месте или в казармах с малым коэффициентом защиты от гамма-излучения, без средств защиты органов дыхания, а также военнослужащие в/ч 3445 постов охраны заводов 25 и 24 [11, 14, 15].

Загрязнение одежды у персонала за счет нахождения на загрязненной территории достигало 20 000 β-частиц·мин/см^2, а у военнослужащих, выведенных из военного городка, измерение загрязнения одежды можно было произвести только прибором ПМР-1, показания которого достигали 200 мкР/с.

Во время ликвидации последствий аварии:

– внешнее облучение бета-гамма-излучающими радионуклидами лиц, участвовавших в ликвидации последствий аварии;

– внутреннее облучение за счет ингаляционного поступления радионуклидов при работе на следе радиоактивного загрязнения;

– облучение за счет проезда (прохода) по загрязненной территории по пути следования на работу и с работы (до получения индивидуального дозиметра).

Вследствие того, что на следе аварии имела место очень высокая поверхностная загрязненность, для защиты персонала от загрязнения кожных покровов и ингаляционного поступления при проведении работ в широком масштабе применялись следующие средства индивидуальной защиты: противогазы, респираторы ШБ-«Лепесток», прорезиненные костюмы СК-01, пластиковые комбинезоны, резиновые сапоги и перчатки.

Однако путь до места работы (санпропускника здания), где работники переодевались в спецодежду и получали средства ИДК, и обратно, до проведения дезактивации дорог и пешеходных дорожек проходил по загрязненной территории, а в некоторых случаях приходилось пересекать ось следа. Так, весь персонал завода 37 ежесменно пересекал зону радиоактивного следа. Измеренная индивидуальная доза облучения за один проход в первые дни после аварии составила 0,32 Р, а суммарная за 4-й квартал 1957 г. – 3,3 Р [10].

Методы и приборы контроля

В 1957 г. в СССР дозы облучения работников атомной отрасли ограничивались «Санитарными нормами проектирования предприятий и лабораторий», утвержденными 11.04.1954 г., №851 [25]. В соответствии с данным документом доза облучения работников не должна была превышать 15 Р/год (0,05 Р/день). При радиационной аварии допускалось облучение работников дозой до 25 Р/год.

Приказом Министерства среднего машиностроения № 560 для персонала заводов 25, 35, 45 и лиц, привлеченных к ликвидации последствий аварии на этих заводах, была установлена индивидуальная дневная доза облучения до 0,8 Р [8]. При достижении дозы 25 Р персонал выводился на три месяца в «чистые» условия, а затем должен был вернуться на свое рабочее место. На остальных территориях и заводах была установлена дневная доза облучения до 0,2 Р, а индивидуальная суммарная доза за год не должна была превышать 15 Р [8].

В момент аварии и при ликвидации ее последствий все работники основного производства ПО «Маяк» были обеспечены индивидуальными дозиметрами, показания которых хранятся в архиве группы ИДК ПО «Маяк» и доступны для анализа.

При организации работ по ликвидации последствий аварии промышленная площадка ПО «Маяк» на территории заводов была разделена на «чистые» и «грязные» участки. «Грязные» участки, в свою очередь, делились на три зоны.

Опасная (первая) зона – включала в себя территорию с высокими значениями МЭД, работа на которой приводила к облучению в дозах, близких к предельно допустимым (ПДД), а при определенных условиях – и к превышению этих норм. Работа в этой зоне проводилась по допуску формы ТБ-1[7] с обязательным ИДК и непрерывным контролем со стороны отдела дозиметрического контроля.

Наблюдаемая (вторая зона) – рабочие места и работы, при выполнении которых доза облучения составляла от 0,3 до 1 ПДД. Работы в этой зоне проводились по допуску формы ТБ-2[8] при периодическом контроле службы дозиметрии и выборочном или групповом ИДК.

[7] Допуск ТБ [Permission TB] – это письменное разрешение на проведение работ в полях повышенного радиационного воздействия, в котором указывалось место и содержание работ, которые предстояло выполнить, мероприятия по снижению радиационного воздействия и необходимые средства индивидуальной защиты (СИЗ). Допуск по форме ТБ-1 мог ограничивать работу по времени и требовал постоянного дозиметрического контроля [written permission to work in the fields of increased radiation exposure, which indicated the place and work to be performed, activities to reduce radiation exposure and the necessary personal protective equipment. Permission TB-1 could limit the work time and required constant dosimetric control].

[8] При допуске по форме ТБ-2 проводился периодический контроль со стороны службы дозиметрии [With a permission TB-2, periodic monitoring by the dosimetry service was carried out].

Безопасная (третья) зона – это рабочие места и работы, при выполнении которых доза облучения не превышала 5 Р/год. Контроль со стороны службы дозиметрии проводился 1–2 раза в месяц, а ИДК отсутствовал.

ИДК для работников «чистой» зоны не проводился, потому что нижняя граница отчетности за облучение персонала основного и вспомогательного производств в период 1954–1960 гг. составляла 5 Р.

Таким образом, в архиве ПО «Маяк» присутствуют данные по дозам облучения ликвидаторов аварии из числа строителей, монтажников и военных строителей, стоявших на ИДК в 1957–1960 гг. Кроме того, в оперативных и отчетных документах за 1957–1959 гг. приводятся списки (по нарастающему итогу) на ликвидаторов, дозы облучения которых превысили 5 Р. Несмотря на значительный объем имеющихся данных, часть лиц, в том числе оказавшихся на пути прохождения радиоактивного облака, не имеют ни зарегистрированных данных ИДК, ни расчетных доз облучения. Не были учтены дозы, полученные персоналом во время передвижения по территории промплощадки до и после окончания рабочего времени без средств ИДК.

Для того чтобы более полно оценить дозы, полученные на территории промплощадки во время аварии, и дозозатраты при ликвидации ее последствий, во время работ по архивному поиску были разработаны и утверждены методики расчета доз облучения для наиболее значимых ситуаций, в которых ИДК отсутствовал. Это прежде всего «Методика расчета доз внешнего гамма-излучения личного и вольнонаемного состава военно-строительных частей, внутренних войск и осужденных, оказавшихся в зоне радиоактивного следа в результате аварии 29.09.1957 г. на ПО «Маяк», разработанная коллективом авторов ФИБ-1 [26], а также «Методика расчета доз внешнего облучения персонала, работавшего на территориях заводов 25, 35, 37, 24 и 22 и находившихся в зданиях на следе радиоактивности от взрыва 29.09.1957 г.», разработанная сотрудниками службы дозиметрического контроля ПО «Маяк», и другие методические документы.

В методиках на основании данных о радиационной обстановке и ее динамике, времени нахождения на открытой местности и в зданиях с различным коэффициентом защиты проведен расчет средних доз облучения для разных ситуаций.

Таким образом, дозы облучения персонала и лиц, участвовавших в ликвидации последствий аварии 1957 г. на промышленной площадке ПО «Маяк», складываются из 2 составляющих – дозы, измеренной индивидуальными дозиметрами и зарегистрированной в архиве ИДК ПО «Маяк», и дозы, рассчитанной по разработанным методикам на основании параметров радиационной обстановки в ситуациях, когда ИДК отсутствовал.

Дозы внутреннего облучения за счет ингаляционного поступления радионуклидов при выполнении работ на территории радиоактивного следа не рассчитывались. По данным [27], эта доза была значительно ниже доз внешнего облучения. Следует также учесть, что при этих работах персонал применял средства индивидуальной защиты органов дыхания – противогазы и респираторы «Лепесток».

Значения доз, полученных за счет ингаляционного поступления при нахождении людей на открытой местности без средств индивидуальной защиты органов дыхания при прохождении радиоактивного облака, приводятся на основании данных работы [27], в которой оценены дозы на легкие, желудочно-кишечный тракт (ЖКТ) и скелет от радионуклидов, входящих в состав отходов, выброшенных из хранилища.

Сложные условия радиационной обстановки основного производства ПО «Маяк» с момента пуска в 1948 г. первого уран-графитового реактора, а затем и радиохимического завода приводили к необходимости выполнения работ в радиационных полях с высокой мощностью дозы. Однако эти условия стимулировали развитие дозиметрии, методов организации работ в условиях высоких дозовых воздействий, разработку и применение средств индивидуальной защиты. Быстрыми темпами развивалась приборно-методическая база радиационного контроля. Появились новые радиометрические приборы, модернизировались средства индивидуального контроля доз внешнего облучения. Это позволило с первых дней организовать работы по ликвидации последствий аварии в соответствии с принятой на предприятии системой радиационного контроля. Измерения радиационных факторов осуществлялись с применением стационарных и переносных приборов контроля.

Для контроля мощности экспозиционной дозы применялись переносные приборы – микрорентгенометр ПМР-1 и ПР-1 «Карагач», верхний предел измерений которого составлял 100 000 мкР/с. Радиометр РУП-1 с бета-датчиком применялся для контроля транспорта и грузов, вывозимых с территории промплощадки, а также для контроля в «чистой» зоне.

Радиометром «ТИСС» с датчиком «ТЧ» определялась степень загрязнения рук, личной одежды и обуви.

С помощью установок СУ-1 проводился контроль загрязненности тела в санпропускниках, а также контроль загрязненности личной одежды и обуви в проходных заводов и на входе в столовые.

С момента пуска в 1948 г. первой реакторной установки для индивидуального контроля внешнего гамма-излучения на предприятии применялся фотопленочный метод ИФК (табл. 1) [28].

Дозиметр ИФК имел диапазон измерений от 0,05 до 25 Р, погрешность единичного измерения составляла ±30% в диапазоне энергий гамма-квантов от 0,4 до 1,25 МэВ. Однако, как показала практика, в полях более мягких фотонов энергетическая зависимость чувствительности дозиметра возрастала в 10 и более раз (рис. 3) [27].

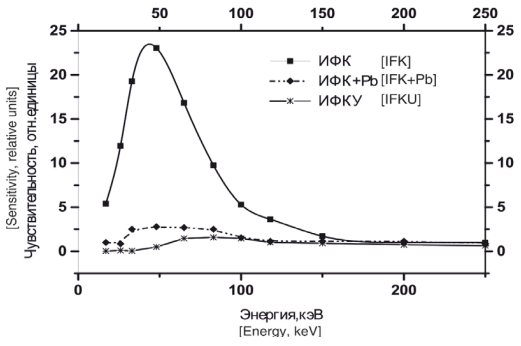


Рис. 3. Энергетическая зависимость дозовой чувствительности индивидуальных пленочных дозиметров типа ИФК, ИФК+Pb, ИФКУ

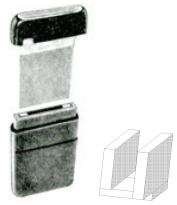
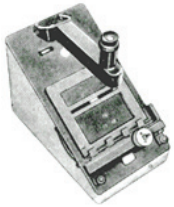
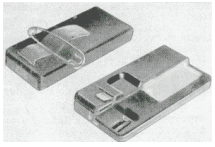
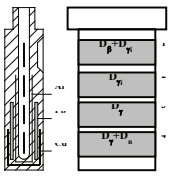
[Fig. 3. Energy dependence of dose sensitivity for individual film dosimeters IFK, IFK+ Pb, IFKU]

Таблица 1

Данные о применявшихся на ПО «Маяк» средствах индивидуального дозиметрического контроля [28]

[Table 1

Means of individual dosimetric control used on PA "Mayak" [28]]

Внешний вид [Appearance]	Наименование прибора [Name of the device]	Назначение [Destination]	Технические характеристики [Technical parameters]	Период использования [Period of use]
	Пленочный дозиметр ИФК [Photofilm dosimeter IFK]	Измерение индивидуальной дозы гамма-излучения [Measurement of individual gamma radiation dose]	Дозиметр ИФК представлял собой прямоугольную кассету размером 67×43×9 мм из карболита. Диапазон измерений составлял от 0,05 до 25 Р. [Measurement range was from 0.05 to 25 R]. Погрешность определения дозы для энергий гамма-квантов от 0,4 до 1,25 МэВ составляла ± 30%. Для градуировки метода использовались источники Ra-226 [The dose determination error for gamma-quantum energies from 0.4 to 1.25 MeV was ±30%. To calibrate the method, Ra-226 sources were used].	1948–1953 гг.
	Пленочный дозиметр ИФК со свинцовым фильтром [Photofilm dosimeter IFK with lead filter]	Измерение индивидуальной дозы гамма-излучения [Measurement of individual gamma radiation dose]	Для компенсации зависимости чувствительности от энергии гамма-излучения поверх корпуса кассеты ИФК наклеивалась П-образная пластинка свинца, толщиной 0,75 мм. Для градуировки использовались источники Co-60. Погрешность 30%. [To compensate for the dependence of sensitivity of gamma-radiation on top of the outer casing IFK pasted U-shaped plate of lead with a thickness of 0,75 mm. For the calibration, Co-60 sources were used. Error was 30%.	1953–1960 гг.
	Денситометр ИФТ-11 [Densitometer IFT-11]	Контроль оптической плотности почернения пленки [Control of optical density of film blackening]	Фотометрирование плёнок проводилось на денситометре ИФТ-11, на котором почернение определялось в сравнении с оптическим клином Государственного Оптико-Механического Завода (ГОМЗ). [Photometry of films was carried out on the IFT-11 densitometer, on which blackening was determined in comparison with the optical wedge of the State Optical-Mechanical Plant (GOMZ)]	1948–1960 гг.
 	Пленочный дозиметр ИФКУ [[Photofilm dosimeter IFKU]	Измерение индивидуальной дозы гамма-, бета-излучения и тепловых нейтронов [Individual dose measurement of gamma, beta and thermal neutrons]	Диапазон измерений гамма-излучения от 0,05 до 2 рад. Основная погрешность 30%. Дополнительная погрешность за счет энергетической зависимости чувствительности в диапазоне энергий от 0,1 до 3 МэВ не более 20%. Бета-излучение с граничной энергией 0,1 МэВ и выше. Эквивалентная доза тепловых нейтронов от 0,05 до 2 бэр. [The measurement range of gamma radiation from 0.05 to 2 rad. Basic error was 30% Additional error due to the energy dependence of the sensitivity in the energy range from 0.1 to 3 MeV is not more than 20%. Beta radiation with a boundary energy of 0.1 MeV and above. The equivalent dose of thermal neutrons from 0.05 to 2 rem].	1961–1992 гг.

Для улучшения энергетических характеристик дозиметра, начиная с 1954 г., на его корпус стал наклеиваться «П»-образный свинцовый фильтр толщиной 0,75 мм. Благодаря этому энергетическая зависимость чувствительности дозиметра к фотонам с энергией до 100 кэВ не превышала 3, что значительно улучшило их дозиметрические характеристики. Как показано в работе [28], коэффициент, учитывающий энергетическую зависимость чувствительности дозиметра ИФК со свинцовым фильтром, в спектрах фотонов загрязненных территорий после аварии 1957 г. на промплощадке ПО «Маяк» составлял 1,1, т.е. не превышал 10% от показаний дозиметра.

С учетом опыта эксплуатации метода ИФК на ПО «Маяк» к 1961 г. был разработан и внедрен на производстве дозиметр ИФКУ, который имел сложный компенсирующий фильтр из свинца и алюминия, позволяющий улучшить дозиметрические характеристики метода ИФК (см. табл.1). Этот метод без изменения применялся на ПО «Маяк» до 1992 г.

Таким образом, к моменту, когда в 1957 г. произошел выброс радиоактивных отходов, на ПО «Маяк» имелся комплекс аппаратурных и технических средств для разведки и контроля радиационной обстановки на следе радиоактивного загрязнения, а также для организации и проведения работ на этой территории значительными силами как персонала ПО «Маяк», так и привлеченных к этим работам строительных, монтажных организаций и военных строителей.

Облучение персонала и лиц, находившихся на территории промплощадки во время взрыва и в первые часы после аварии

Часть военнослужащих в момент аварии находились на постах охраны периметров заводов, попавших на след аварии. До момента снятия этих постов военнослужащие получили повышенные дозы облучения, которые представлены в таблице 2.

Аварийному облучению в момент взрыва и в первые часы после аварии (29–30 сентября 1957 г.) подверглись 4869 человек военнослужащих и осужденных 10-го лаготделения вне сферы их трудовых обязанностей, а также 14 военнослужащих, несущих караульную службу на постах охраны заводов и 22 сотрудника ВПЧ-3, находившихся на дежурстве. Максимальные дозы облучения 150 Р и 100 Р получили соответственно 6 человек военнослужащих постов охраны завода 25 и 4 человека завода 24, 730 военнослужащих в/ч 3445 – по 52 Р, а 22 человека из ВПЧ-3 – по 27 Р.

Облучению также подверглись 228 человек сменного персонала подразделений ПО «Маяк», попавших на след радиоактивного облака. Однако, как было сказано выше, этот персонал находился в промышленных зданиях с большим коэффициентом защиты от гамма-излучения и имел средства ИДК. Их дозы облучения за смену составили от 0,1 Р до 1,5 Р и будут учтены при анализе доз персонала заводов.

3115 человек военных строителей в/ч 20156 и 25529 получили дозы по 107 Р, а 1002 человека из осужденных 10-го лаготделения – по 79 Р.

Дозы внутреннего облучения за счет ингаляционного поступления радиоактивных аэрозолей во время прохождения облака приводятся в таблице 3 на основании данных [27].

Дозы за счет внутреннего облучения персонала завода 24, территория которого также частично попала на след облака, в 20–100 раз ниже по сравнению с дозами военнослужащих и осужденных.

Облучение за счет работ по ликвидации последствий аварии

Основные подразделения ПО «Маяк»

Завод 25. К работам по ликвидации последствий аварии был привлечен весь персонал завода 25. В момент взрыва на рабочих местах работали 120 человек. Зарегистрированная доза облучения за эту рабочую смену составила 1,5 Р. Расчетная доза за счет прохода по загрязненной территории – 1,0 Р.

Количество работников завода с измеренной дозой облучения свыше допустимого значения, т.е. более 0,8 Р за смену (так называемые «сигналисты») представлено в таблице 4.

Из таблицы 4 видно, что в октябре 1957 г. каждый второй из работников, находившихся на ИДК, не укладывался в дневную норму облучения. В 4 квартале 1957 г. измеренная доза облучения составляла от 20 до 49 Р для 120 человек.

Дозы облучения персонала заводов 25, 35, 45, 24, 37 и 22 в 1957–1959 гг., по данным [9–23], представлены в таблице 5.

Таблица 2

Дозы внешнего гамма-излучения военнослужащих постов охраны периметров заводов за 29.09.1957 г.

[Table 2

External gamma doses of military security posts of the plants perimeters for 09/29/1957]

Подразделение [Department]	Количество человек [Number of persons]	Расчетная доза облучения, Р [Estimated radiation dose, R]	Коллективная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]
Завод 25 [Plant 25]	6	150	900
Завод 24 [Plant 24]	4	100	400
Завод 37 [Plant 37]	2	30	60
Завод 22 [Plant 22]	2	20	40
Итого [In total]	14	–	1400

Таблица 3

Дозы внутреннего облучения за счет ингаляционного поступления радиоактивных аэрозолей за время прохождения облака на открытой местности на расстоянии 2–3 км от места взрыва

[Table 3

Internal doses due to radioactive aerosols inhalation during the passage of the cloud in the open area at a distance of 2–3 km from the site of the explosion]

Место нахождения [Location]	МЭД после прохождения облака, Р/ч [MED after passing the cloud, R/h]	Эквивалентная доза на легкие, сЗв [Equivalent dose to lungs, cSv]	Эквивалентная доза на ЖКТ, сЗв [Equivalent dose to gastrointestinal tract, cSv]	Эквивалентная доза на костную ткань, сЗв [Equivalent dose to bone, cSv]
Военный городок [Military camp]	15	53	10	23
Лагерь осужденных [Prison camp]	15	53	10	23
ВПЧ-3 [Military firefighting unit-3]	5	10,6	2	4,6
Ось следа [The axis of the trace]	15	53	–	23

Таблица 4

Количество работников завода 25 с зарегистрированной дозой облучения выше 0,8 Р за смену («сигналисты»)

[Table 4

The number of workers from the plant No. 25 with radiation dose above 0,8 R per shift ("signalers")]

Количество человек [Number of persons]	Октябрь 1957 г. [October 1957]	Ноябрь 1957 г. [November 1957]	Декабрь 1957 г. [December 1957]
Контролируемые [Controlled]	1704	1773	1746
«Сигналисты» [«Signalers»]	816	268	126

Таблица 5

Коллективные, средние и максимальные дозы облучения персонала заводов 25, 35, 45, 24, 37, 22 в 1957–1959 гг.

[Table 5

Collective, average and maximum doses of personnel from the plants Nos. 25, 35, 45, 24, 37, 22 for 1957–1959]

Подразделение [Department]	4-й квартал 1957 г. [4th quarter 1957]							
	Измеренная доза [Measured dose]				Расчетная доза [Estimated dose]			
	Количество человек [Number of persons]	Коллективная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]	Max доза, Р [Max dose, R]	Количество человек [Number of persons]	Коллективная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]	Max доза, Р [Max dose, R]
Завод 25 [Plant 25]	1 704	10 900	6,4	93,0	600	1 000	1,7	2,0
Завод 35 [Plant 35]	175	1 137	6,5	45,6	–	–	–	–
Завод 45 [Plant 45]	140	1 483	10,6	23,8	–	–	–	–
Завод 24 [Plant 24]	802	1 960	2,4	15,8	700	1 470	2,1	9,7

Окончание таблицы 5

Подразделение [Department]	Измеренная доза [Measured dose]				Расчетная доза [Estimated dose]			
	Количество человек [Number of persons]	Коллективная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]	Max доза, Р [Max dose, R]	Количество человек [Number of persons]	Коллективная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]	Max доза, Р [Max dose, R]
	4-й квартал 1957 г. [4th quarter 1957]							
Завод 37 [Plant 37]	728	2 000	2,7	15,2	728	2 370	3,3	3,3
Завод 22 [Plant 22]	–	–	–	–	560	980	1,8	12,9
Итого: [In total]	3 549	17 480	4,9	–	2 588	5 820	2,25	–
	1958 г. [1958]							
Завод 25 [Plant 25]	1 896	30 000	15,8	53,0	600	300	0,5	1,0
Завод 35 [Plant 35]	701	3 740	5,3	27,6	–	–	–	–
Завод 45 [Plant 45]	260	1 820	7,0	17,9	–	–	–	–
Завод 24 [Plant 24]	840	2 503	3,0	14,8	700	312	0,4	1,6
Завод 37 [Plant 37]	779	3 724	4,8	15,0	779	62	0,1	0,1
Завод 22 [Plant 22]	–	–	–	–	560	540	1,0	9,4
Итого: [In total]	4 476	41 787	9,3	–	2 639	1214	0,5	–
	1959 г. [1959]							
Завод 25 [Plant 25]	1 728	23 500	13,5	47,2	600	60	0,1	0,2
Завод 35 [Plant 35]	1 042	5 000	4,8	20,6	–	–	–	–
Завод 45 [Plant 45]	249	1 500	6,0	17,3	–	–	–	–
Завод 24 [Plant 24]	589	1 700	2,9	14,0	600	46	0,1	0,2
Завод 37 [Plant 37]	737	3 950	5,3	14,6	737	15	–	–
Завод 22 [Plant 22]	–	–	–	–	560	540	1,0	1,6
Итого: [In total]	4 345	35 650	8,2	–	2 497	661	0,3	–

Завод 35. В 1957–1958 гг. технологические здания завода 35 находились в процессе строительства и пусконаладочных работ, которые завершились пуском завода в 1959 г. В момент взрыва 29.09.1957 г. персонал на территории завода отсутствовал, однако в дальнейшем весь закрепленный за объектами строящегося завода персонал был включен в состав санотряда и участвовал в работах по ликвидации загрязнения на территории завода. Средняя зарегистрированная доза облучения персонала за рабочий день в 1957 г. составила 0,24 Р, а за 4-й квартал 1957 г. – 6,5 Р.

Завод 45. В момент взрыва персонал на территории завода отсутствовал. Весь персонал принимал участие в ликвидации последствий аварии. В 1957–1958 гг. на территории завода работал санотряд, в котором, кроме работников завода, работали гражданские и военные

строители. В 1957 г. в связи с превышением предельно допустимых доз из санотряда выведено 52 человека, а в 1958 г. – 108 человек. Средняя зарегистрированная доза за 4-й квартал 1957 г. составила 10,6 Р.

Завод 24. В момент взрыва на заводе работало 42 человека. В зависимости от места нахождения измеренная доза облучения за смену составила от 0,2 до 0,6 Р. Расчетная доза за счет прохода по загрязненной территории составила 0,2–0,3 Р.

Весь персонал завода привлекался к работам по дезактивации помещений, оборудования, территории и зданий. В октябре 1957 г. к работам по дезактивации была привлечена команда ВПЧ-3 в составе 52 человек.

Завод 37. В момент взрыва на заводе работало 62 человека. Зарегистрированная доза за смену составила 0,1 Р. К работам по дезактивации был привлечен весь персонал завода. Расчетная доза за счет выхода с загрязненной территории площадки составила 0,3 Р. Кроме того, весь персонал завода ежесменно пересекал ось следа в обоих направлениях, за счет чего в 4-м квартале 1957 г. доза облучения составила 3,3 Р. Средняя зарегистрированная доза за 4-й квартал 1957 г. составила 2,7 Р.

Завод 22. Поскольку на данной площадке ИДК отсутствовал, анализ облучаемости персонала завода выполнен по расчетным дозам облучения. В момент взрыва на заводе работало 4 человека. Расчетная доза за смену составила от 0,5 до 1,2 Р в зависимости от места работы. К дезактивации помещений и оборудования был привлечен весь персонал завода. Расчетная доза за счет прохода по загрязненной территории составила 0,3 Р. Средняя расчетная доза за 4-й квартал 1957 г. составила 1,8 Р.

Данные, представленные в таблице 5, показывают, что наибольшему облучению при проведении работ по ликвидации последствий аварии 1957 г. подверглись работники заводов 25, 45 и строящегося завода 35. Средние зарегистрированные дозы облучения за 4-й квартал 1957 г. составили от 6 до 10 Р, а максимальные достигали 100 Р. В 1958–1959 гг. наибольшему облучению подверглись работники завода 25, среднегодовые зарегистрированные дозы которых составили 15,8 и 13,5 Р за 1958 и 1959 гг. соответственно при максимальных дозах до 50 Р.

Для работников заводов 24, 37 и 22 значительный вклад в дозу вносило облучение за счет передвижения персонала по загрязненной территории без индивидуальных дозиметров (расчетная доза).

Из персонала основного производства облучению подверглись 3,5 тыс. работников в 1957 г., а в 1958–1959 гг. – по 4,5 тыс. Увеличение численности персонала произошло за счет увеличения штата завода 35, который готовился к пуску, и увеличения штата завода 45.

Общее количество работников основного производства, участвовавших в ликвидации последствий аварии, установить трудно, так как по сравнению с персоналом военных и гражданских строителей, которые менялись по мере накопления доз облучения, основной контингент персонала ПО «Маяк» проработал на своих рабочих местах весь период ликвидации аварии.

Коллективная измеренная доза внешнего облучения работников основных заводов ПО «Маяк» за 1957–1959 гг. составила 94 917 чел.-Р, а коллективная расчетная доза – 7695 чел.-Р, что составляет приблизительно 10% от зарегистрированной дозы. Однако для заводов, удаленных от эпицентра взрыва (24, 37 и 22), это соотношение составляет 40%.

Вспомогательные подразделения ПО «Маяк»

К работам по ликвидации последствий аварии на промышленной площадке ПО «Маяк» были привлечены практически все вспомогательные подразделения комбината.

Энергоцех (ЭНЦ). Весь ремонтный персонал был занят на обслуживании оборудования и коммуникаций на загрязненной территории. В момент взрыва в различных зданиях на территории следа работали 6 сотрудников ЭНЦ, расчетная доза за смену для них составила от 0,3 до 1,5 Р.

Цех сетей и подстанций (ЦСП). Персонал ЦСП занимался дезактивацией подстанций, обслуживанием и ремонтом воздушных и кабельных сетей, проходящих по территории промплощадки. В момент взрыва на территории следа работали 6 человек из персонала ЦСП, расчетная доза которых составила от 0,01 Р до 0,6 Р.

Центральная заводская лаборатория (ЦЗЛ). Персонал лабораторий и служб был привлечен как к контролю объектов на территории города, так и к контролю территории промышленной площадки между заводами и воинскими частями. Группа работников ЦЗЛ была привлечена к проведению измерений по следу аварии за пределами промышленной площадки и в период переселения жителей из загрязненных районов. В 4-м квартале 1957 г. измеренная доза 394 работников ЦЗЛ составила в среднем 1,6 Р, максимальная доза – 12 Р; в 1958 г. средняя измеренная доза 425 работников составила до 1,5 Р, а максимальная – до 15 Р.

ОКБ КИПиА (завод 40). С целью восстановления технологического контроля персонал ОКБ привлекался к работам по изготовлению и монтажу приборов контроля на оборудовании хранилища радиоактивных отходов завода 25. По результатам измерений доза облучения работников составила: в 4-м квартале 1957 г. максимальная доза 28 человек – до 15 Р; в 1958 г. максимальная доза 35 человек – до 15 Р.

Ремонтно-строительный цех (РСЦ). Персонал РСЦ привлекался к ремонтно-строительным работам, замене остекления в зданиях, закладке окон кирпичом, устройству деревянных мостиков и настилов, побелке и покраске зданий и др.

За 4-й квартал 1957 г. и 1958 г. у 158 работников РСЦ была измерена и зарегистрирована доза облучения, при этом максимальная доза составила 15 Р.

Автохозяйство. Работа по перевозке грузов и пассажиров на загрязненной территории промплощадки проводилась силами работников автохозяйства, ими обслуживались все механизмы, работавшие на следе аварии. Однако сведения по общему количеству работников автохозяйства, привлеченных к ликвидации последствий аварии и их дозам облучения, в архиве ПО «Маяк» не найдены.

Цех связи (АТС). Дежурный и ремонтный персонал АТС участвовал в ликвидации загрязнения оборудования и помещений АТС, а также переносе линий связи в зоне загрязнения. В 1957–1959 гг. на ИДК стояло 58 работников АТС.

В таблице 6 приведены коллективные, средние и максимальные дозы внешнего гамма-излучения работников

вспомогательных подразделений ПО «Маяк» за период с 4-го квартала 1957 г. до конца 1959 г.

Работники вспомогательных подразделений ПО «Маяк» получили дозы облучения при выполнении своих основных обязанностей на загрязненных территориях и объектах промплощадки ПО «Маяк». Коллективная измеренная доза внешнего гамма-излучения персонала вспомогательных подразделений ПО «Маяк» за 4-й квартал 1957, 1958 и 1959 гг. составила 7130 чел.-Р, расчетная доза – 146 чел.-Р.

Военные и гражданские строители

Персонал воинских строительных частей и гражданских строителей в составе санотрядов (районов) привлекался к работам по дезактивации территорий и зданий, а также на отдельных работах внутри зданий. При достижении дозы 25 Р персонал гражданских строителей выводился в чистые условия труда, а военные строители демобилизировались.

Так, в 1957 г. демобилизовано 52 человека из военнослужащих, получивших дозу до 25 Р на заводе 45. В 1958 г. в состав санотрядов ежемесячно привлекалось от 1500

Таблица 6

Коллективные, средние и максимальные дозы облучения персонала вспомогательных подразделений ПО «Маяк» за 1957–1959 гг.

[Table 6

Collective, average and maximum doses of personnel from auxiliary units “Mayak” PA for 1957–1959]

Подразделение [Department]	4-й квартал 1957 г. [4th quarter 1957]							
	Измеренная доза [Measured dose]				Расчетная доза [Estimated dose]			
	Количество человек [Number of persons]	Коллективная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]	Max доза, Р [Max dose, R]	Количество человек [Number of persons]	Коллективная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]	Max доза, Р [Max dose, R]
Энергоцех [Power department]	149	633	4,2	3,7	135	500	3,7	5,7
ЦСП [Networks and substations]	48	150	3,1	4,6	116	270	2,3	10
ЦЗЛ [Central plant laboratory]	394	636	1,6	12	–	–	–	–
ОКБ КИПиА [Experimental design office]	28	70	2,5	15	–	–	–	–
РСЦ-12 [Repair and construction shop]	158	1 000	6,3	15	–	–	–	–
Цех связи [Communication workshop]	58	174	3,0	–	–	–	–	–
Итого: [In total]	835	2663	3,2	–	251	770		
	1958 г. [1958]							
Энергоцех [Power department]	141	352	2,5	10,0	135	80	0,6	2,7
ЦСП [Networks and substations]	48	175	3,6	10,0	116	70	0,6	1,1
ЦЗЛ [Central plant laboratory]	425	650	1,5	15,0	–	–	–	–
ОКБ КИПиА [experimental design office]	35	210	6,0	15,0	–	–	–	–

Окончание таблицы 6

Подразделение [Department]	4-й квартал 1957 г. [4th quarter 1957]							
	Измеренная доза [Measured dose]				Расчетная доза [Estimated dose]			
	Количество человек [Number of persons]	Коллективная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]	Max доза, Р [Max dose, R]	Количество человек [Number of persons]	Коллективная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]	Max доза, Р [Max dose, R]
РСЦ-12 [Repair and construction shop]	158	1200	8,0	15,0	–	–	–	–
Цех связи [Communication workshop]	58	100	1,7	–	–	–	–	–
Итого: [In total]	865	2687	1,1	–	251	150	–	–
	1959 г. [1959]							
Энергоцех [Power department]	134	330	2,4	8,0	135	176	1,3	1,6
ЦСП [Networks and substations]	47	180	3,8	8,0	116	50	0,4	1,0
ЦЗЛ [Central plant laboratory]	425	450	3,1	12,0	–	–	–	–
ОКБ КИПиА [experimental design office]	35	100	2,9	15,0	–	–	–	–
РСЦ-12 [Repair and construction shop]	158	650	4,1	15,0	–	–	–	–
Цех связи [Communication workshop]	58	70	1,2	–	–	–	–	–
Итого: [In total]	857	1780	–	–	251	226	–	–

до 3000 человек военных и гражданских строителей. При достижении дозы 25 Р ежемесячно выводилось от 200 до 500 человек.

Измеренные при ИДК дозы облучения военных и гражданских строителей в 1957–1959 гг. представлены в таблице 7. Из-за отсутствия данных о времени и месте проведения работ данным контингентом участников ликвидации аварии не представляется возможным рассчитать дозы облучения для случаев, когда ИДК не проводился. Данные таблицы 7 получены на основании обобщенных отчетных сведений за 1957–1959 гг., хранящихся в архиве ПО «Маяк».

Наибольшие дозы облучения, так же, как и работники ПО «Маяк», военные и гражданские строители получили при работах на территории заводов 25, 45, 35. Практически весь персонал санотрядов, в которые входили строительные подразделения, получал дозы, близкие к 25 Р, после чего выводился в чистые условия. Средние дозы за 1958 г. на этих участках работы составили от 18 до 24 Р, а максимальные дозы достигали 80 Р.

За период с сентября 1957 г. по конец 1959 г. к работам по ликвидации последствий аварии на промплощадке ПО «Маяк» было привлечено около 20 тысяч военных и гражданских строителей, из них 13 704 человек состояли на индивидуальном контроле и имеют зарегистрированные дозы облучения. Коллективная зарегистрированная доза строительных подразделений составила 243 656 чел.-Р.

Охрана территории заводов и технологических зданий

Охрана территории заводов и технологических зданий осуществлялась военнослужащими в/ч 3445. После образования следа радиоактивного загрязнения посты охраны с наиболее загрязненных участков были перенесены на более «чистые» территории.

Данные о дозах облучения военнослужащих в/ч 3445 в 1957–1959 гг. представлены в таблице 8.

Таблица 7

Дозы облучения военных и гражданских строителей, принимавших участие в работах по ликвидации последствий аварии 1957 г. на территории промплощадки ПО «Маяк» в 1957 – 1959 гг.

[Table 7

Radiation doses of military and civil builders, participated in works of elimination of the consequences of the 1957 accident on the territory of the industrial site "Mayak" PA in 1957 – 1959]

Место проведения работ [Place of work]	Измеренная доза [Measured dose]			
	4-й квартал 1957 г. [4th quarter 1957]			
	Количество человек [Number of persons]	Коллективная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]	Max доза, Р [Max dose, R]
Завод 25 [Plant 25]	530	6 300	12	45,5
Завод 35 [Plant 35]	781	7 700	9,9	63,0
Завод 45 [Plant 45]	520	8 300	16,0	25,0
Завод 24 [Plant 24]	75	122	1,6	–
Завод 37 [Plant 37]	105	164	1,6	–
Итого: [In total]	2 011	22 586	14,6	–
	1958 г. [1958]			
Завод 25 [Plant 25]	9 200	167 750	18,1	32
Завод 35 [Plant 35]	1 500	36 000	24,0	78,0
Завод 45 [Plant 45]	108	2 520	21,0	25,0
Завод 24 [Plant 24]	–	–	–	–
Завод 37 [Plant 37]	–	–	–	–
Итого: [In total]	10 808	206 270	19,1	–
	1959 г. [1959]			
Завод 25 [Plant 25]				
Завод 35 [Plant 35]	885	14 800	16,7	32,0
Завод 45 [Plant 45]	–	–	–	–
Завод 24 [Plant 24]	–	–	–	–
Завод 37 [Plant 37]	–	–	–	–
Итого: [In total]	885	14 800	16,7	–

Таблица 8

Дозы облучения военнослужащих в/ч 3445 в 1957–1959 гг.

[Table 8

Radiation doses of the military personnel of the m/u No. 3445 for 1957–1959]

Показатели [Indicators]	4-й квартал 1957 г. [4th quarter 1957]	1958 г. [1958]	1959 г. [1959]
Количество контролируемых, чел. [Number of monitored persons]	920	1 000	1 000
Коллективная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	3 290	3 880	1 260
Средняя доза, Р [Mean dose, R]	3,6	3,9	1,3
Максимальная доза, Р [Max dose, R]	12	14	6

Коллективная доза облучения военнослужащих в/ч 3445 за период 1957–1959 гг. составила 8430 чел.-Р без учета доз, полученных во время и в первые часы после аварии.

Вспомогательные организации

Для выполнения отдельных разовых заданий и контролирующих функций на загрязненную территорию привлекались сотрудники следующих организаций: медико-санитарного управления (МСУ), санэпидемслужбы (СЭС), военизированной охраны (ВВО), управления внутренних дел (МВД) и др. Общее количество привлеченного персонала этих организаций могло составлять до 100 человек. Их дозы облучения неизвестны.

Кроме того, на территории промплощадки у проходных заводов 25, 37 и 24 располагались рабочие столовые, обслуживаемые персоналом Управления рабочего снабжения (УРС) ПО «Маяк». Столовые также попали в зону загрязнения с МЭД от 2 до 100 мР/ч. Столовые были закрыты, персонал столовых занимался отмывкой помещений. В момент взрыва на заводе 25 работал буфет.

Обобщенные данные

Обобщенные данные по дозам внешнего облучения персонала при ликвидации последствий аварии 1957 г. на территории промышленной площадки ПО «Маяк» представлены в таблице 9.

Таблица 9

Сводные данные по дозам облучения персонала при выполнении работ по ликвидации последствий аварии 1957 г. на территории промышленной площадки ПО «Маяк» за 1957–1959 гг.

[Table 9

A summary of personnel doses during works on liquidation of consequences of the 1957 accident in the territory of the industrial site "Mayak" PA for 1957 – 1959]

Подразделения [Departments]	Измеренная доза [Measured dose]			Расчетная доза [Estimated dose]		
	Количество человек [Number of persons]	Коллективная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]	Количество человек [Number of persons]	Коллективная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]
	4-й квартал 1957 г. [4th quarter 1957]					
Основные заводы ПО «Маяк» [Main plants Mayak PA]	3 549	17 480	8,2	2 588	5820	2,3
Вспомогательные подразделения ПО «Маяк» [Auxiliary units Mayak PA]	835	2 663	3,3	251	770	3,1
Привлеченный персонал военных и гражданских строителей [Involved staff of military and civilian builders]	2 011	22 586	11,2	–	–	–
Военнослужащие охраны в/ч 3445 [Military guard of 3445 unit]	920	3 290	3,6	–	–	–
Итого: [In total]	7 315	46 019	6,3	2 839	6 590	1,7

Окончание таблицы 9

Подразделения [Departments]	Измеренная доза [Measured dose]			Расчетная доза [Estimated dose]		
	Количество человек [Number of persons]	Коллективная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]	Количество человек [Number of persons]	Коллективная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]
Облучение в момент аварии [Exposure at the time of accident]	–	–	–	4 869	457 158	–
Итого за 1957 г.: [In total during 1957]	7 315	46 019	–	7 708	463 748	–
			1958 г. [1958]			
Основные заводы ПО «Маяк» [Main plants Mayak PA]	4 476	41 787	9,3	2 639	1 214	0,5
Вспомогательные подразделения ПО «Маяк» [Auxiliary units Mayak PA]	865	2 687	3,1	251	150	0,5
Привлеченный персонал военных и гражданских строителей [Involved staff of military and civilian builders]	10 808	206 270	19,0	–	–	–
Военнослужащие охраны в/ч 3445 [Military guard of 3445 unit]	1 000	3 880	3,9	–	–	–
Итого за 1958 г.: [In total during 1958]	17 149	254 632	14,8	2 890	1 364	0,5
			1959 г. [1959]			
Основные заводы ПО «Маяк» [Main plants Mayak PA]	4 345	35 650	8,2	2 497	661	0,3
Вспомогательные подразделения ПО «Маяк» [Auxiliary units Mayak PA]	857	1 780	2,1	251	226	0,9
Привлеченный персонал военных и гражданских строителей [Involved staff of military and civilian builders]	885	14 800	16,7	–	–	–
Военнослужащие охраны в/ч 3445 [Military guard of 3445 unit]	1 000	1 260	1,3	–	–	–
Итого за 1958 г. [In total during 1959]	7 087	53 490	7,5	2 748	887	–

В статье представлены данные по дозам облучения участников ликвидации последствий аварии и облучившихся в момент взрыва в количестве:

– облученные в момент и первые часы после аварии – 4869 человек;

– персонал основных заводов ПО «Маяк» – 12370 человек;

– персонал вспомогательных подразделений ПО «Маяк» – 2557 человек;

– военные и гражданские строители – 13 704 человек;

– военнослужащие охраны промплощадки и заводов ПО «Маяк» – 2920 человек.

За первые 3 месяца работ по ликвидации последствий аварии сумма коллективной измеренной и расчетной доз облучения ликвидаторов (без учета дозы лиц, облучившихся в первые сутки за счет нахождения на следе радиоактивного облака) составила около 52,5 тыс. чел.-Р или 17,5 тыс. чел.-Р/мес. (около 15% от дозы за весь период ликвидации последствий аварии). За 1958 и 1959 гг. коллективные дозы облучения ликвидаторов составили соответственно 256 тыс. чел.-Р и 54,5 тыс. чел.-Р, или 70% и 15% от дозы за весь период ликвидации последствий аварии, а месячные дозы – 21,3 тыс. чел.-Р/мес. и 4,5 тыс. чел.-Р/мес.

За период 1957–1959 гг. ликвидаторами аварии 1957 г. на промышленной площадке ПО «Маяк» была получена коллективная доза около 363 тыс. чел.-Р, а лицами, облучившимися на следе радиоактивного облака в первые сутки после аварии – 450 тыс. чел.-Р. Дозозатраты персонала ПО «Маяк» составили около 100 тыс. чел.-Р (30% от коллективной дозы ликвидаторов), военных и гражданских строителей – 250 тыс. чел.-Р.

Выводы

Материалы, представленные в статье на основании обобщения и анализа архивных документов, данных журналов радиационной обстановки за 1957–1960 гг., картотеки ИДК и проведенных расчетов, показали следующее:

1. Во время аварии, произошедшей 29 сентября 1957 г. в хранилище жидких радиоактивных отходов завода 25 ПО «Маяк», произошел выброс в атмосферу 740 ПБк (20 МКи) активности. Из них ~74 ПБк (2 МКи) выпало по направлению ветрового движения радиоактивного облака в северо-восточном направлении, образовав ВУРС, а 90% активности осели на территории промышленной площадки ПО «Маяк» в районе эпицентра взрыва.

2. На территории радиоактивного следа, образовавшегося в результате взрыва, оказались производственные здания заводов 25, 45, 35, 24, 22, 37, ВПЧ-3, 10-го лаготделения осужденных, военный городок в/ч 20156, 25529, 3445, а также посты охраны заводов 25, 24, 22, 37. В результате аварии персонал, находившийся на этих объектах, подвергся радиоактивному загрязнению и облучению в момент прохождения радиоактивного облака, а также за счет нахождения на загрязненной территории в первые часы после аварии. Всего облучению подверглись около 5100 человек. Сменный персонал ПО «Маяк» (228 чел.) находился в технологических зданиях, был обеспечен спецодеждой и средствами ИДК, поэтому получил незначительные дозы облучения (до 1,5 Р).

3. Наибольшие дозы внешнего облучения получили 10 военнослужащих в/ч 3445, несших караульную службу по охране заводов 25 и 24, 6 из которых получили дозу по 150 Р, а 4 – по 100 Р. Военнослужащие в/ч 20156 и 25529, находившиеся на отдыхе в военном городке (3845 чел.), получили дозу по 107 Р, в/ч 3445 – по 52 Р (730 чел.) а осужденные 10-го лаготделения (1002 чел.) – по 79 Р. 22 человека, дежурившие в этот день в ВПЧ-3, получили дозу по 27 Р. В связи с отсутствием ИДК эти дозы были рассчитаны по разработанным методикам. Коллективная доза внешнего облучения, полученная во время и в первые часы после аварии данным контингентом лиц, составила ≈ 457 тыс. чел.-Р.

4. Дозы внутреннего облучения за время прохождения радиоактивного облака приведены по данным работы [27]. Наибольшие дозы получили военнослужащие, находившиеся в военном городке, и осужденные 10-го лаготделения. Дозы на легкие составили 53 сЗв, на ЖКТ – 10 сЗв и костную ткань – 23 сЗв. У работников заводов, находившихся в производственных зданиях, дозы внутреннего облучения были значительно меньше доз внешнего облучения.

5. Мощность экспозиционной дозы гамма-излучения (МЭД) на следе радиоактивного загрязнения на 30.09.1957 г. составила: район комплекса хранилищ радиоактивных отходов – 360–1000 Р/ч, территория военного городка и лагеря осужденных – 15–18 Р/ч, завода 24 – до 18 Р/ч, завода 22 – 1,5 Р/ч, завода 37 – 1,4 Р/ч. Проведенный комплекс мероприятий (отсыпка чистым грунтом, снятие загрязненного грунта и т.п.) позволили к 30.03.1958 г. снизить МЭД в районе комплекса хранилищ в 500 раз. Работы по дезактивации территорий промплощадки были закончены к концу 1959 г. К этому времени МЭД гамма-излучения в районе комплекса хранилищ радиоактивных отходов завода 25 в основном не превышала 20 мР/ч, а на рабочих местах – 1 мР/ч.

6. Персонал, принимавший участие в ликвидации последствий аварии, подвергался внешнему и внутреннему облучению за счет нахождения на загрязненной территории. Так как при проведении работ широко применялись средства индивидуальной защиты органов дыхания (респиратор ШБ-1 «Лепесток», противогазы), дозы внутреннего облучения, по данным работы [27], были значительно меньше доз внешнего облучения и далее не учитывались.

7. Всего в работах по ликвидации последствий аварии в 1957–1959 гг. на территории промышленной площадки ПО «Маяк» приняли участие 38,5 тыс. человек, включая лиц, облученных непосредственно в момент аварии, а также работников ПО «Маяк», военных и гражданских строителей. Из лиц, участвовавших в ликвидации последствий аварии, дозу облучения от 25 до 30 Р получили около 10,5 тыс. человек, при этом имелись случаи облучения в дозах до 100 Р.

8. Коллективная доза, полученная во время аварии и при ликвидации ее последствий, составила ≈ 820 тыс. чел.-Р. За три месяца 1957 г. коллективная доза составила около 500 тыс. чел.-Р, большая часть из которой (около 450 тыс. чел.-Р) получена военнослужащими и заключенными 10-го лаготделения в момент и первые часы после аварии. Коллективные дозы, зарегистрированные в 1958 и 1959 гг., составили 250 тыс. чел.-Р и 54 тыс. чел.-Р соответственно. Основные дозозатраты легли на привлеченных к ликвидации последствий аварии военных и гражданских строителей (250 тыс. чел.-Р) и персонал ПО «Маяк» (100 тыс. чел.-Р).

Благодаря продуманной организации работ, поддержанию доз облучения участников ликвидации аварии на возможно низких уровнях, применению средств индивидуальной защиты, за время работы при больших уровнях мощностей доз и высокой загрязненности поверхностей среди ликвидаторов, охваченных медицинским наблюдением на территории г. Озерска, было зарегистрировано всего несколько случаев хронической лучевой болезни.

Не останавливая работу производства, основные работы по дезактивации зданий и территорий на промплощадке ПО «Маяк» были закончены к концу 1959 г.

Благодарность

Выражаем сердечную благодарность старейшим работникам службы дозиметрии ПО «Маяк», принимавшим непосредственное участие в ликвидации последствий аварии 1957 г.: А.Ф. Лызлову, Э.С. Котову, Е.И. Андрееву, В.И. Синицыну, Л.А. Думенеку, а также работникам Филиала №1 Института биофизики (ФИБ-1) под руководством Э.Р. Любчанского за неоценимый вклад в обработку материалов архивных документов, использованных в данной статье.

Литература

1. Никипелов, Б.В. Кыштымская авария крупным планом / Б.В. Никипелов, Е.Г. Дрожко, Г.Н. Романов // Природа. – 1990. – №5. – С. 47-75.
2. Романов, Г.Н. Кыштымская авария: секреты и мифы (западный анализ аварии 1957 г.) / Г.Н. Романов // Вопросы радиационной безопасности. – 1997. – №3. – С. 63-71.
3. Алексахин, Р.М. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры / Р.М. Алексахин, Л.А. Булдаков, В.А. Губанов, Е.Г. Дрожко, Л.А. Ильин [и др.]; под редакцией Л.А. Ильина и В.А. Губанова – М.: ИздАТ, 2001. – 752 с.
4. Акт комиссии по расследованию причин взрыва в хранилище радиоактивных отходов комбината 817 (председатель Славский Е.П.) от 03.10.57. – Архив ПО «Маяк», ф.1, оп.30, ед.70.
5. Первоочередные мероприятия по обеспечению безопасной работы комплексов 120/2, 3, 4, утвержденные Зверевым А.Д. 23.10.1957. – Архив ПО «Маяк», ф.5, оп.23, ед.11.
6. Акт комиссии МСМ от 25.11.1957 о расследовании причин взрыва на комбинате 817. – Архив ПО «Маяк», ф.1, оп.30, ед.75.
7. Андреев, Е.И. Организация работ и дозиметрический контроль во время ликвидации последствий аварии 29.09.57 на объекте 25 / Е.И. Андреев, В.Ф. Хайдуков – 1960. – Архив ПО «Маяк», ф.5, оп.28, ед.157.
8. Лызлов, А.Ф. Радиационные последствия аварии 1957 года в пределах промышленной площадки ПО «Маяк» / А.Ф. Лызлов, Е.К. Василенко, Л.А. Думенек // Отчет 15-1154 (с Приложениями), Утв. А.П. Сусловым 03.01.1992. – Архив ПО «Маяк». – 36 с., Приложения 19 с.
9. Сводный отчет. Радиоактивное загрязнение районов, прилегающих к комбинату 817, в результате аварийного выброса и ликвидация последствий этого выброса. – Центральная заводская лаборатория. – Архив ПО «Маяк», октябрь 1958, ф.11, оп.30, ед.844.
10. Отчет отдела ТБ комбината 817 за 2-е полугодие 1957 года. – Архив ПО «Маяк», ф.1, оп.30, ед.17.
11. Дело отдела ТБ завода 24 за 1957 год. – Архив ПО «Маяк», ф.4, оп.13, ед.19.
12. Отчет отдела ТБ завода 35 за 1958 год. – Архив ПО «Маяк», ф.6, оп.2, ед.33.
13. Отчет отдела ТБ завода 22 за 1958 год. – Архив ПО «Маяк», ф.3, оп.5, ед.6.
14. Отчет отдела ТБ завода 24 за 1958 год. – Архив ПО «Маяк», ф.4, оп.13, ед.25.
15. Отчет отдела ТБ завода 25 за 1958 год. – Архив ПО «Маяк», ф.5, оп.24, ед.21.
16. Отчет отдела ТБ комбината 817 за 1957 год. – Архив ПО «Маяк», ф.1, оп.28, ед.18.
17. Дело отдела ТБ завода 24 за 1959 год. – Архив ПО «Маяк», ф.4, оп.14, ед.2.
18. Дело отдела ТБ завода 35 за 1959 год. – Архив ПО «Маяк», ф.6, оп.2, ед.35.
19. Отчет отдела ТБ комбината 817 за 2-е полугодие 1958 года. – Архив ПО «Маяк», ф.1, оп.30, ед.99.
20. Дело отдела ТБ завода 37 за 1958-60 гг. – Архив ПО «Маяк», ф.7, оп.8, ед.166.
21. Отчет отдела ТБ завода 45 за 1958-60 гг. – Архив ПО «Маяк», ф.1, оп.6, ед.11.
22. Отчет отдела ТБ завода 25 за 2-е полугодие 1958 года. – Архив ПО «Маяк», ф.5, оп.25, ед.6.
23. Отчет отдела ТБ завода 25 за 1959 год. – Архив ПО «Маяк», ф.5, оп.26, ед.1.
24. Толстиков, В.С. Южно-Уральская радиационная авария 1957 года: правда и домыслы / В.С. Толстиков, В.Н. Кузнецов // Информационно-просветительская газета «Время». – Екатеринбург, 2017. – №8(32). – 31 августа. – С. 1-16.
25. Панфилов, А.П. Эволюция системы обеспечения радиационной безопасности атомной отрасли страны и ее современное состояние / А.П. Панфилов // АНРИ. – 2016. – №1. – С. 2-14.
26. Любчанский, Э.Р. Вклад Южно-Уральского института биофизики в ликвидацию и преодоление последствий аварии в 1957 году на ПО «Маяк» / Э.Р. Любчанский, С.А. Романов // Охрана природы Южного Урала. Спецвыпуск, посвященный 50-летию аварии 1957 года на ПО «Маяк». – 2007. – С. 45-49.
27. Антропова, З.Г. Итоги изучения и опыт ликвидации последствий аварийного загрязнения территории продуктами деления урана / З.Г. Антропова, Е.И. Белова, И.К. Дибобес [и др.]; под редакцией А.И. Бурназяна. – М.: Атомэнергоиздат, 1990. – 234 с.
28. Василенко, Е.К. Дозиметрия внешнего облучения работников ПО «Маяк»: приборы, методы, результаты контроля. Источники и эффекты облучения работников ПО «Маяк» и населения, проживающего в зоне влияния предприятия // Под редакцией М.Ф. Киселева, С.А. Романова. – Федеральное медико-биологическое агентство, Южно-Уральский ин-т биофизики. – Озерск, 2009. – Ч.1. – С. 51-100.

Поступила: 13.05.2019 г.

Василенко Евгений Константинович – ведущий научный сотрудник Южно-Уральского регионального аварийного медико-дозиметрического центра Южно-Уральского института биофизики, член РНКРЗ. **Адрес для переписки:** 456780, г. Озерск, Челябинская область, Озерское шоссе, 19, E-mail: vasilenko@subi.su

Аладова Елена Евгеньевна – руководитель группы, старший научный сотрудник Южно-Уральского регионального аварийного медико-дозиметрического центра Южно-Уральского института биофизики, кандидат биологических наук, Озерск, Россия

Горелов Михаил Васильевич – руководитель службы радиационной безопасности ПО «Маяк», Озерск, Россия

Князев Валерий Альбертович – инженер-физик отдела радиационной безопасности ПО «Маяк», Озерск, Россия

Колупаев Дмитрий Никифорович – главный инженер ПО «Маяк», кандидат технических наук, Озерск, Россия

Романов Сергей Анатольевич – директор Южно-Уральского института биофизики, кандидат биологических наук, член РНКРЗ, член НКДАР ООН, член МКРЗ, Озерск, Россия

Для цитирования: Василенко Е.К., Аладова Е.Е., Горелов М.В., Князев В.А., Колупаев Д.Н., Романов С.А. Авария 1957 года: радиационная обстановка и дозы облучения участников ликвидации аварии на территории промышленной площадки ПО «Маяк» // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 2 (Спецвыпуск). – С. 31-49. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-10-2s-31-49.

The 1957 accident: radiological situation and radiation doses of participants in the liquidation of the accident on the territory of PA "Mayak" industrial site

Evgeny K. Vasilenko[1], Elena E. Aladova[1], Mikhail V. Gorelov[2], Valery A. Knyazev[2], Dmitry V. Kolupaev[2], Sergey A. Romanov[1]

[1] Southern Urals Biophysics Institute, Federal Medical-Biological Agency of Russia, Ozersk, Russia

[2] Production Association "Mayak" Rosatom, Ozersk, Russia

Purpose: to assess the radiation situation on the industrial site of the PA "Mayak" during the accident in 1957 and the radiation doses of the participants in the liquidation of consequences of this accident. Materials and methods: on the basis of the archival documents analysis, radiation situation data for 1957 – 1960, IDC data and calculated doses of the Mayak workers, as well as supporting organizations personnel and military units involved in the liquidation of the accident consequences and covered by individual monitoring are presented. Results: in 1957 – 1959 about 38,5 thousand people took part in the works on the territory of the PA "Mayak" industrial site for liquidation of consequences of the accident, including persons exposed at the time of the accident: employees of "Mayak", military and civil builders. Radiation doses from 25 to 30 R received about 10,5 thousand people, while there were single cases of exposure in doses up to 100 R. Conclusion: the collective dose received during the accident and liquidation of its consequences in 1957 was about 820 000 person-R. Collective doses recorded in 1958 and 1959 amounted to 250 000 person-R and 54 000 person-R, respectively.

Key words: *radiation accident, area of radioactive contamination, radiation dose, decontamination, exposure dose rate, devices for dosimetric control, measures to eliminate the consequences of the accident.*

References

1. Nikipelov B.V., Drozhko E.G., Romanov G.N. Kyshtym accident close-up. Priroda = Nature, 1990; 5:47-75 (in Russian)
2. Romanov G.N. Kyshtym accident: secrets and myths (western analysis of the accident in 1957) Voprosy radiatsionnoi bezopasnosti = Radiation safety issues, 1997; 3: 63-71 (in Russian)
3. Aleksakhin R.M., Buldakov L.A., Gubanov V.A., Drozhko E.G., Ilyin L.A. Great radiation accidents: consequences and protective measures. Moscow, IzdAT, 2001, 752 p. (in Russian)
4. Act of the Commission to investigate the causes of the explosion in the radioactive waste storage plant 817 (chairman Slavsky E.P.) 03.10.57: Archive of Mayak PA; fund 1, inventory 30, unit 70 (in Russian).
5. Priority actions for ensuring safe operation of complexes 120/2, 3, 4, approved by Zverev A.D. 23.10.1957. Archive of Mayak PA, fund 5, inventory 23, unit 11 (in Russian).
6. The Commission act MSM 25.11.1957 on the investigation into the cause of the explosion at the plant 817. Archive of Mayak PA, fund 1, inventory 30, unit 75 (in Russian).
7. Andreev E.I., Khaydukov V.F. Organization of works and dosimetric control during liquidation of consequences of accident 29.09.57 on object 25: 1960; Archive of Mayak PA, fund 5, inventory 28, unit 157 (in Russian).
8. Lyzlov A.F., Vasilenko E.K., Dumenek L.A. Radiation consequences of the accident in 1957 within the industrial site «Mayak»: 03.01.1992; Archive of Mayak PA (in Russian).
9. Radioactive contamination of areas neighbouring the plant 817, as a result of accidental release and elimination of the consequences of this release: October 1958; Central factory laboratory; Archive of Mayak PA, fund 11, inventory 30, unit 844 (in Russian).
10. Report of the occupational safety department of the plant 817 for the 2nd half of 1957. Archive of Mayak PA, fund 1, inventory 30, unit 15 (in Russian).
11. Report of the occupational safety department of the plant 24 for 1957. Archive of Mayak PA, fund 4, inventory 13, unit 19 (in Russian).
12. Report of the occupational safety department of the plant 35 for 1958. Archive of Mayak PA, fund 6, inventory 2, unit 33 (in Russian).
13. Report of the occupational safety department of the plant 22 for 1958. Archive of Mayak PA, fund 3, inventory 5, unit 6 (in Russian).
14. Report of the occupational safety department of the plant 24 for 1958. Archive of Mayak PA, fund 4, inventory 13, unit 25 (in Russian).
15. Report of the occupational safety department of the plant 25 for 1958. Archive of Mayak PA, fund 5, inventory 24, unit 21 (in Russian).
16. Report of the occupational safety department of the plant 817 for 1957. Archive of Mayak PA, fund 1, inventory 28, unit 18 (in Russian).
17. Report of the occupational safety department of the plant 24 for 1959. Archive of Mayak PA, fund 4, inventory 14, unit 2 (in Russian).
18. Report of the occupational safety department of the plant 35 for 1959. Archive of Mayak PA, fund 6, inventory 2, unit 35 (in Russian).
19. Report of the occupational safety department of the plant 817 for the 2nd half of 1958. Archive of Mayak PA, fund 1, inventory 30, unit 99 (in Russian).
20. Report of the occupational safety department of the plant 37 for the period 1958-1960. Archive of Mayak PA, fund 7, inventory 8, unit 166 (in Russian).
21. Report of the occupational safety department of the plant 45 for 1959. Archive of Mayak PA, fund 6, inventory 2, unit 35 (in Russian).
22. Report of the occupational safety department of the plant 25 for the 2nd half of 1958. Archive of Mayak PA, fund 5, inventory 35, unit 6 (in Russian).

Evgeny K. Vasilenko
Southern Urals Biophysics Institute
Address for correspondence: Ozersk highway, 19, Ozersk, Chelyabinsk region, 456780, Russia; E-mail: vasilenko@subi.su

23. Report of the occupational safety department of the plant 25 for 1959. Archive of Mayak PA, fund 5, inventory 26, unit 1 (in Russian).
24. Tolstikov V. S., Kuznetsov V.N. South Ural radiation accident of 1957: truth and speculation. Informatsionno-prosvetiteljskaya gazeta «Vremya» = Information-educational newspaper "Vremya". 2017; 8: 1-16 (in Russian).
25. Panfilov A.P. Evolution of the system of the provision of the radiation safety of the nuclear sector of the country and its current state. ANRI = ANRI, 2016; 1: 2-14 (in Russian).
26. Lubchansky E.R., Romanov S.A. Contribution of the South-Ural institute of biophysics into the liquidation and negotiation of the consequences of the accident on PO "Mayak" in 1957. Okhrana prirody Yughnogo Urala = Environmental protection of the South Ural, 2007; Spetsvypusk: 45-49 (in Russian).
27. Antropova Z.G., Belova E.I., Dibobes I.K. Results of the study and experience in eliminating the consequences of accidental contamination of the territory by uranium fission products. Under edition of Burnazyan A.I. Moscow, Atomizdat, 1990, 234 p. (in Russian).
28. Vasilenko E.K. Dosimetry of external radiation of «Mayak» PA workers: devices, methods, results of monitoring. Sources and effects of exposure of «Mayak» PA workers and the population living in the area of the enterprise influence. Southern Urals Biophysics Institute. Ozersk, 2009, part 1. (in Russian).

Received: May 13, 2019

For correspondence: Evgeny K. Vasilenko – Leading scientist, South-Ural regional emergency medical-dosimetry center of South-Ural institute of biophysics (SURAMDC SUIBF), member of RNCRP (Ozersk highway, 19, Ozersk, Chelyabinsk region, 456780, Russia; E-mail: vasilenko@subi.su)

Elena E. Aladova – Head of the department, senior scientist, South-Ural regional emergency medical-dosimetry center of South-Ural institute of biophysics (SURAMDC SUIBF), PhD, Ozersk, Russia

Mikhail V. Gorelov – Head of the radiation protection service of PO "Mayak", Ozersk, Russia

Valery A. Knyazev – Engineer-physicist, radiation protection service of PO "Mayak", Ozersk, Russia

Dmitry V. Kolupaev – Chief engineer, PO "Mayak", candidate of technical sciences, Ozersk, Russia

Sergey A. Romanov – Dierector of South-Ural institute of Biophysics, PhD, member of RNCRP, member of UNSCEAR, member of ICRP, Ozersk, Russia

For citation: Vasilenko E.K., Aladova E.E., Gorelov M.V., Knyazev V.A., Kolupaev D.V., Romanov S.A. The 1957 accident: radiological situation and radiation doses of participants in the liquidation of the accident on the territory of PA "Mayak" industrial site. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2019, Vol. 12, No. 2 (special issue), pp. 31-49. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426x-2019-12-2s-31-49.