

Профилактические мероприятия

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2019

Коренков И.П.¹, Лащеннова Т.Н.^{1,2}, Шандала Н.К.¹, Ермаков А.И.³, Майзик А.Б.⁴

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СУХОГО МЕТОДА ДЕЗАКТИВАЦИИ ПОВЕРХНОСТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АЛЬФА-ИЗЛУЧАЮЩИМИ РАДИОНУКЛИДАМИ

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства России», 123182, Москва;

²Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов», 117198, Москва;

³Акционерное общество «Логистический центр ЯТЦ», 119017, Москва;

⁴Акционерное общество «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара», 123098, Москва

Введение. В статье показана оценка эффективности использования технологии сухого метода дезактивации α -радионуклидов с рабочих поверхностей помещений для разных материалов, оборудования и строительных конструкций.

Материал и методы. Приборы для измерения МАЭД с нижним пределом 0,03 мкЗв/ч. Удельную активность α -радионуклидов в образцах определяли радиометрическими, радиохимическими и спектрометрическими методами по стандартным методикам в аккредитованной лаборатории. Для измерения использовали радиометрический измерительный комплекс «CANBERRA» и передвижной гамма-спектрометр гамма-спектрометрический комплекс ISOCS «CANBERRA» с детектором из особо чистого германия и коллиматором.

Технологическая аппаратура – промышленный пылесос с насадками; аппарат высокого давления; упаковочные комплекты для сбора РАО; фильтры HEPA; средства индивидуальной защиты.

Результаты. Построили картограммы пространственного распределения поверхностного α -загрязнения в здании. Провели кластерный анализ данных для зонирования загрязнённых поверхностей. Определили коэффициент дезактивации для пористых (кирпич, бетон), гладких (дерево, метлахская плитка, ламинат) и клеевых (битум, мастика) поверхностей.

Заключение. Кластерный анализ позволил выделить 4 уровня поверхностного α - и β -загрязнения, частиц/см² · мин: зона I – для α – выше 50, для β – выше 10 000; зона II – для α – 5–50, для β – 2000–10 000; зона III – для α – не более 5, для β – 2000; зона IV – соответствует фоновым значениям поверхностей рабочих помещений. При сухом методе дезактивации выявлено большое содержание тонкодисперсной аэрозольной фракции пыли, оседающей в лёгких. Для повышения эффективности пылеподавления проводили распыление водного аэрозоля с размером капель 100–400 мкм и кварцевого песка с размером частиц 100–200 мкм из расчёта 200–400 г на 1 м². Коэффициент дезактивации зависит от материала покрытия и уровня поверхностного загрязнения: бетон – 91 до 97,8%; кирпич – 85–86%, дерево – 38,8–53%; метлахская плитка – до 29%; мастика – 22–28%; битум – 15,9–20%. Для защиты персонала необходимо радиационно-гигиеническое нормирование содержания РМ₁₀ и РМ_{2,5}.

Ключевые слова: сухие методы дезактивации; поверхностное радиоактивное загрязнение; альфа-излучающие радионуклиды; эффективность дезактивации; оценка эффективности пылеподавления; тонкодисперсная фракция аэрозолей; картограммы; зонирование загрязнённой поверхности.

Для цитирования: Коренков И.П., Лащеннова Т.Н., Шандала Н.К., Ермаков А.И., Майзик А.Б. Оценка эффективности сухого метода дезактивации поверхностного загрязнения альфа-излучающими радионуклидами. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(8): 878–884. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-8-878-884>

Для корреспонденции: Коренков Игорь Петрович, доктор биол. наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБУ «ГНЦ РФ – ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России», 123182, Москва. E-mail: korenkovip@yandex.ru

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Участие авторов: статья подготовлена с равным участием всех авторов.

Поступила 06.12.2018
Принята к печати 27.05.19
Опубликована 09.2019

Korenkov I.P.¹, Lashchenova T.N.^{1,2}, Shandala N.K.¹, Ermakov A.I.³, Mayzik A.B.⁴

ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF THE DRY METHOD OF DECONTAMINATION OF SURFACE CONTAMINATION OF ALPHA-EMITTING-RADIONUCLIDES

¹A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Centre, Moscow, 123182, Russian Federation;

²Peoples' Friendship University, Moscow, 117198, Russian Federation

³NFC Logistics, Joint-Stock Company, Moscow, 119017, Russian Federation;

⁴Joint-stock company Academician A.A. Bochvar High-tech Research Institute of Inorganic Materials, Moscow, 123060, Russian Federation

The article describes the evaluation of the efficiency of using the technology of dry method of decontamination of α -radionuclides from working surfaces of premises for different materials, equipment and building structures.

Materials and methods. Instruments for measuring of ambient dose equivalent rate (ADER) with a lower limit of 0.03 $\mu\text{Sv/h}$. Specific activity of α -radionuclides in the samples was determined by radiometric, radiochemical and spectrometric methods using standard methods in the accredited laboratory. The measurements in situ were also carried out using the ISOCIS «CANBERRA» mobile gamma-ray spectrometry system with high purity germanium detector and a collimator. Technological equipment included industrial vacuum cleaner with nozzles; high-pressure device; packing sets for RAW collection; HEPA filters; personal protective equipment.

Results. Maps of spatial distribution of surface α -contamination in the building was constructed. We performed cluster analysis of data for zoning of contaminated surfaces. The decontamination factor for porous (brick, concrete), smooth (wood, brown tiles, laminate) and sticky (bitumen, mastic) surfaces was determined.

Conclusion. The cluster analysis made it possible to identify 4 levels of surface α - and β - contamination, particles/cm² · min: zone I - for α - above 50, for β - above 10,000; zone II - for α - 5-50, for β - 2,000-10,000; zone III - for α - no more than 5, for β - 2000; zone IV - corresponds to the background values of the workspace surfaces. The dry decontamination method revealed a high content of fine dust aerosol fraction deposited in the lungs. To increase the efficiency of dust suppression, water aerosol with droplet size of 100 - 400 microns and quartz sand with particle size of 100-200 microns were sprayed at the rate of 200-400 g per 1 m². The decontamination coefficient depends on the coating material and the level of surface contamination: concrete - 91 to 97.8%; brick - 85-86%, wood - 38.8-53%; brownstone tiles - up to 29%; mastic - 22-28%; bitumen - 15.9-20%. To protect the personnel, radiation-hygienic rationing of PM₁₀ and PM_{2.5} content is necessary.

Key words: dry methods of decontamination of surfaces; surface contamination; α -emitting radionuclides; decontamination efficiency; evaluation of the efficacy of the dust catching; finely-dispersed fraction aerosols; cartograms; zoning of the surface.

For citation: Korenkov I.P., Lashchenova T.N., Shandala N.K., Ermakov A.I., Mayzik A.B. Estimation of the efficiency of the dry method of decontamination of surface contamination of alpha-emitting-radionuclides. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2019; 98(8): 878-884. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-8-878-884>

For correspondence: Igor P. Korenkov, M.D., Ph.D. in Medicine, Chief of Radiation Health Physics Laboratory, A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Centre, Moscow, 123182, Russian Federation. E-mail: korenkovip@yandex.ru

Information about authors: Korenkov I. P., <http://orcid.org/0000-0002-5709-0858>;
Lashchenova T.N., <https://orcid.org/0000-0002-6682-1261>; Shandala N.K., <https://orcid.org/0000-0003-1290-3082>.

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

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Contribution. The article was prepared with equal participation of all authors.

Received: 06 December 2018

Accepted: 27 May 2019

Published: September 2019

Введение

В связи с актуальностью решения проблем вывода из эксплуатации объектов и реабилитации территорий, сокращения объёмов радиоактивных отходов, подлежащих изоляции, разрабатываются и проходят испытания технологии дезактивации, использующие физические и химические методы удаления радиоактивного загрязнения. Анализ литературных данных показывает, что основное внимание при дезактивации уделяется проблеме очистке загрязнённых грунтов, металлических поверхностей [1–6]. При выводе из эксплуатации объектов, использовавших открытые источники загрязнения, выявляются высокие уровни поверхностного загрязнения помещений, рабочих поверхностей, оборудования, которые требуют своих способов дезактивации. Этой проблеме не уделяется должного внимания. Существующие в настоящее время технологии очистки загрязнения с поверхности, как правило, вызывают переход радионуклидов в воздушную среду и образование большого объёма аэрозолей, организация эффективной очистки которых требует больших затрат. Особенно остро стоит проблема дезактивации поверхности помещений, которые имеют загрязнение α -излучающими радионуклидами [7–14], связанная как с их выявлением, так и с технологическими вопросами дезактивации.

По этому вопросу есть несколько направлений, которые требуют решения: грамотная идентификация содержания радионуклидов; эффективная технология удаления радионуклидов, позволяющая сократить объём образующихся отходов; эффективная защита персонала при проведении таких работ; надёжная локализация образующихся отходов; а также соответствующее нормативно-правовое обеспечение этих работ. Все эти направления требуют решения.

Для удаления поверхностного загрязнения используются разные методы дезактивации [4–6, 12–14], которые классифицируются в зависимости от условий и особенностей загрязнения, агрегатного состояния дезактивирующей среды, морфологии загрязнённой поверхности, типа загрязнителя и т. д.

На рис. 1 приводится схема классификации существующих способов дезактивации, в основу которых положено агрегатное состояние дезактивирующей среды [15–18].

На рис. 1 видно, что все способы дезактивации в зависимости от агрегатного состояния дезактивирующей среды разделяются на безжидкостные, жидкостные и комбинированные.

В безжидкостных технологиях удаление загрязнённого слоя осуществляется механическим способом за счёт струи газа или воздуха и пылеотсасывания образующихся частиц.

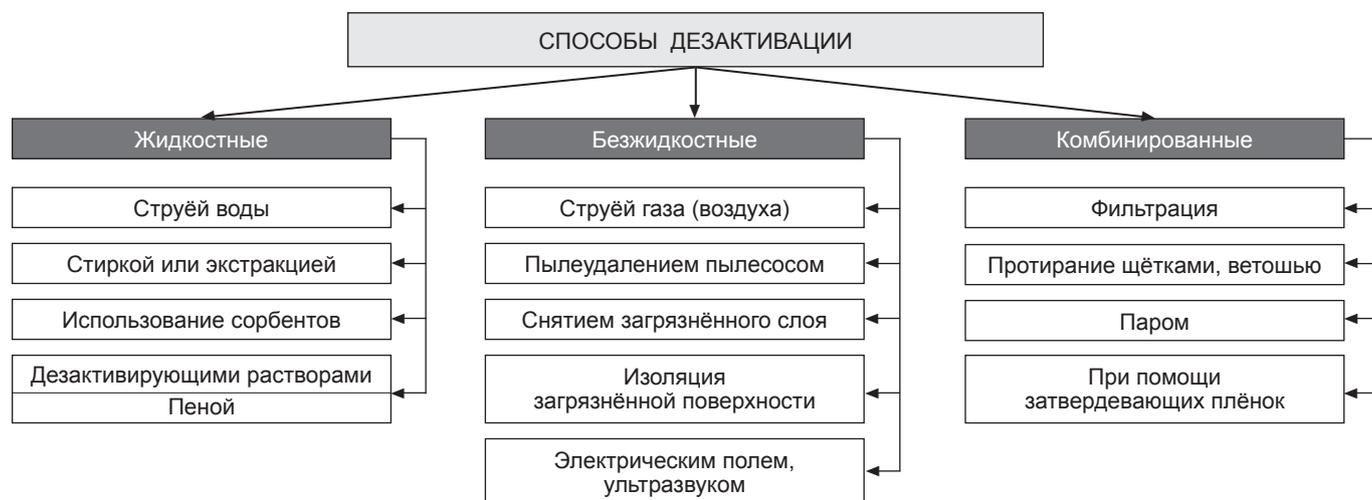


Рис. 1. Классификация способов дезактивации в зависимости от агрегатного состояния дезактивирующей среды.

Основная радиационная нагрузка в этой технологии переносится на очистку загрязнённого воздуха и дальнейшую переработку вторичных отходов, которые собираются на всех ступенях газоочистной системы. Жидкостные технологии заключаются в очистке поверхности струёй воды или дезактивирующими растворами под давлением; технология стирки (основана на химическом воздействии на поверхность жидких дезактивирующих сред в сочетании с механическим воздействием), затем производится экстракция радионуклидов и иммобилизация образующихся вторичных отходов. Отличаются они разными вариантами организации этих работ. Комбинированные технологии предлагают обработку паром под давлением, дезактивацию поверхности при помощи фиксирующих плёнок или за счёт обработки поверхности слоем сорбентов с последующим его удалением. Реализация любого способа осуществляется в две стадии: первая – в преодолении связи между загрязнением и загрязнённой поверхностью; вторая – удаление загрязнения и сбор радиоактивных отходов. Терминология и существующие методы дезактивации описаны [19].

На практике широкое распространение получили методы сухой очистки струёй воздуха с последующим пылеотсосом [20–22]. Технология организации процесса дезактивации заключается в следующем. На первой стадии струёй воздуха с поверхности удаляется радиоактивное загрязнение в виде мелких частиц и структурированных масс, всё загрязнение переводится во взвешенное и аэрозольное состояние. Для повышения эффективности и интенсификации процесса снятия верхнего слоя загрязнения в воздушную струю иногда вводят порошок, обладающий абразивными свойствами, в качестве которого применяются песок, карборунд и др. Вторая стадия – очистка воздушной массы, в которой находится во взвешенном состоянии пыль в виде аэрозолей.

При сухом методе дезактивации выявлено большое содержание тонкодисперсной аэрозольной фракции пыли. Исследования последних лет показали, что содержание в атмосферных аэрозолях мелких взвешенных частиц с размером пыли в интервале 2,5 мкм ($PM_{2,5}$) и 10 мкм (PM_{10}) оказывает влияние на состояние здоровья населения, так как эта фракция оседает в лёгких. При вдыхании в верхние дыхательные пути и легкие частицы PM_{10} и $PM_{2,5}$ оказывают на организм человека негативное воздействие, что вызывает повреждение лёгочной ткани и возникновение респираторных заболеваний. В связи с этим, с учётом рекомендаций Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), в мировой практике ряда стран, в том числе и в России, осуществлён переход на нормирование содержания в воздушной среде частиц пыли $PM_{2,5}$ и PM_{10} . Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 19 апреля 2010 г. № 26 «Об утверждении гигиенических нормативов ГН 2.1.6.2604-10» были утверждены показатели для взвешенных частиц PM_{10} и взвешенные частицы $PM_{2,5}$.

Цель работы заключается в оценке эффективности использования сухого метода дезактивации поверхностного загрязнения α -радионуклидами рабочих поверхностей помещений, представленных разными материалами, оборудования и строительных конструкций.

Материал и методы

Измерение мощности амбиентного эквивалента дозы гамма излучения (МАЭД ГИ) осуществлялось с помощью приборов, имеющих нижний диапазон измерения МАЭД ГИ 0,03 мкЗв/ч. При превышении МАЭД ГИ в помещениях проводились дополнительные измерения удельной активности строительных материалов с помощью передвижного гамма-спектрометра с детектором из особо чистого германия и коллиматора.

Для более точного установления причины повышенных значений МАЭД ГИ отбирали пробы. Удельную активность альфа-излучающих радионуклидов в образцах определяли радиометрическими, радиохимическими и спектрометрическими методами по стандартным утверждённым методикам в аккредитованной лаборатории, работающей в рамках системы менеджмента качества. Для измерения использовали радиометрический измерительный комплекс «CANBERRA» и передвижной гамма-спектрометрический комплекс ISOCS «CANBERRA» с детектором из особо чистого германия и коллиматором. Технологическая аппаратура – промышленный пылесос NILTISK с комплектующими насадками; аппарат высокого давления KARCHER HD; упаковочные комплекты для сбора радиоактивных отходов; фильтры HEPA; средства индивидуальной защиты (СИЗ).

Результаты

Представленные в статье материалы разработаны и реализованы при практическом выполнении вывода из эксплуатации корпуса «Б» АО «ВНИИИМ» в процессе выполнения дезактивационных работ. Корпус «Б» – радиохимический лабораторный корпус, построенный в 1945 г., в котором выполнялись лабораторные, стендовые и опытно-промышленные экспериментальные работы, включая работы с радиоактивными веществами в открытом виде в помещениях I и II класса работ. Корпус «Б» представлял собой шестиэтажное здание с общей площадью помещений 7469 м². Особенностью поверхностного радиоактивного загрязнения оборудования и помещений корпуса «Б» являлось загрязнение долгоживущими альфа-излучателями – преимущественно изотопами плутония, америция и др. В помещениях корпуса находилось значительное количество технологического оборудования, как малогабаритного, так и крупногабаритного [3, 7]. Во всех помещениях корпуса после 60 лет эксплуатации обнаруживались участки, плотность загрязнения которых значительно превышала требования норм радиационной безопасности [23].

Таблица 1

Зонирование поверхностного радиоактивного загрязнения помещений по уровню загрязнения α - или β -излучающими радионуклидами и мощности AMBIENTНОГО ЭКВИВАЛЕНТНОГО ДОЗЫ ГАММА ИЗЛУЧЕНИЯ

Зона	Уровень загрязнения, частиц/см ² · мин		МАЭД ГИ*, мкЗв/ч
	α -радионуклиды	β -радионуклиды	
IV	отсутствует	до 50	0,2
III	до 5	до 2000	6
II	от 5 до 50	от 2000 до 10 000	6–12
I	> 50	> 10 000	> 12

Примечание. * МАЭД ГИ – мощность AMBIENTНОГО ЭКВИВАЛЕНТНОГО ДОЗЫ ГАММА ИЗЛУЧЕНИЯ.

Радиационное обследование помещений в здании, выполняемое из эксплуатации, направлено на измерение уровня поверхностного радиоактивного загрязнения и мощности AMBIENTНОГО ЭКВИВАЛЕНТНОГО ДОЗЫ. Полученные результаты комплексного инженерно-радиационного обследования всех помещений представляли большой объём измерений, которые показали, что уровни α -загрязнения помещений менялись от 10 до 15 000 α -частиц/см² · мин, от фоновых значений до значительных, превышающих допустимое поверхностное загрязнение.

Провели статистическую обработку полученных данных. Для качественного анализа полученного массива данных использовали метод многомерной классификации – кластерный анализ, который позволил выделить однородные группы результатов измерения. Кластерный анализ данных заключался в том, что все пробы разбили на группы (кластеры) методом Уорда (Ward's method), используя вычисление сходства методом городских кварталов (Manhattan distances). Полученные результаты позволили нам выделить 4 кластера по двум показателям: уровню мощности AMBIENTНОГО ЭКВИВАЛЕНТНОГО ДОЗЫ и уровню поверхностного радиоактивного загрязнения по α - и β -загрязнению. Исходя из этого, все загрязнённые поверхности в помещениях можно условно разделить на 4 зоны, характеристики которых представлены в табл. 1.

Причём главным критерием отнесения являлся такой показатель, как максимальное содержание α - или β -излучающих радионуклидов. Такое зонирование не противоречит требованиям НРБ-99/2009 и соответствует таблице 8.9 [11] по допустимым уровням радиоактивного загрязнения поверхностей рабочих помещений. Соотнесём результаты кластерного анализа и требований таблицы 8.9 НРБ-99/2009, которые показывают, что IV зона соответствует фоновым значениям поверхностей рабочих помещений. III зона – это уровень загрязнения α -радионуклидами основной спецодежды, внутренней поверхности дополнительных средств индивидуальной защиты, наружной поверхности спецобуви, который соответствует 5 частицам/см² · мин и 2000 частицам/см² · мин для β -радионуклидов. II зона соответствует значениям поверхностного допустимого загрязнения помещений периодического пребывания персонала и находящегося в них оборудования, уровень загрязнения не должен превышать 50 для α -радионуклидов и 10 000 β -радионуклидов частиц/см² · мин. Выше этих значений имеет наружная поверхность дополнительных средств индивидуальной защиты, снимаемых в саншлюзах, она соответствует аварийному уровню загрязнения, это зона I.

На основе полученных данных по загрязнению напольных покрытий, стен, оборудования в помещениях были построены картограммы, которые характеризуют пространственное распределение α - и β -радионуклидов. На картограммах на рис. 2, 3, см. на 2-й стр. обложки приведены результаты радиационного контроля и зонирование наиболее загрязнённых этажей корпуса «Б».

На картограммах радиационных полей выделены цветом все зоны: жёлтый цвет – зона III, зона радиоактивного загрязнения, которая соответствует зоне постоянного пребывания персонала; красный цвет – II зона, допустимо периодическое пребывание персонала с использованием основных средств индивидуальной защиты; коричневый цвет – I зона, допустимо ограниченное пребывание персонала при использовании дополнительных средств индивидуальной защиты; чёрный цвет – аварийные помещения, выполнение работ в которых возможно при наличии дополнительных саншлюзов, в изолирующих костюмах с внешней подачей воздуха – 1-й класс работ (таблица 3.8.1 ОСПОРБ-99/2010) [12]; зелёный цвет – фоновые значения поверхностного состояния помещений, определение которых подробно описано в [10]. Зонирование проводилось и для поверхностного радиоактивного загрязнения помещений третьего этажа по загрязнению β -излучающими радионуклидами, показанное на рис. 3. Сбор радиоактивных отходов проводился в специальные упаковочные контейнеры типа УК-1 (металлические бочки) или УК-2 (металлические контейнеры квадратной формы).

В процессе проведения работ методом сухой дезактивации поверхностного загрязнения помещений выявили, что в воз-

духе появляются мелкодисперсные фракции пыли с размером аэрозольных частиц менее 10 мкм, которые плохо улавливаются СИЗ, но они задерживаются в лёгких, являются опасными для здоровья персонала. Это частицы с фракцией 2,5 и 10 мкм, которые имеют индексы PM₁₀ и PM_{2,5}, и с 2010 г. их содержание нормируется. Эти мелкие фракции пыли не задерживаются промышленными пылесосами, практически не оседают за счёт гравитационных эффектов, и соответственно выявление содержания этой фракции пыли требуется для защиты персонала с позиций радиационно-гигиенического нормирования [24, 25]. В настоящее время в качестве критерия оценки качества атмосферного воздуха в России используются санитарно-гигиенические нормы – предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в воздухе населённых мест. Такие нормативы установлены для более 2000 веществ и смесей. Поэтому вполне обоснованным является переход от наблюдения общего содержания взвешенных частиц к наблюдениям за содержанием PM₁₀ и PM_{2,5}. Согласно принятому дополнению № 8 к ГН 2.1.6.1338-03 [26], в России установлены соответствующие ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест, но документы для защиты персонала требуют уточнений. Проведённые расчёты показали, что частицы плутония микронных размеров несут на себе активность порядка $n(1-10)$ Бк, и, как правило, они ассоциированы с частицами материала значительно меньшей плотности. Это привело к существенному усложнению работ по дезактивации, так как этот момент резко снижает эффективность дезактивационных работ сухим методом и требует принятия решений.

Для ограничения распространения радиоактивного загрязнения за пределы этих помещений пришлось срочно предпринимать меры по подавлению пылеобразования. Были организованы трёхсекционные шлюзы с «мокрой» дезактивацией. Для эффективной организации системы противопылевой защиты с помощью «мокрой» дезактивации воздуха для осаждения аэрозольной фракции микронных размеров провели исследование и оценили зависимость скорости седиментации от размера частиц воды. На рис. 4 приведена зависимость скорости седиментации от размера частиц воды ($\rho = 1$ г/см³). Это даёт возможность достаточно корректно оценить поведение частиц пыли такого диаметра.

Из рис. 4 следует, что для частиц диаметром менее 20 мкм скорость оседания оценивается менее 1 см/с, это означает, что вертикальная составляющая их перемещения уже не является доминирующей, и при интенсивном движении в таких помещениях конвекционные потоки вносят более существенный вклад. Исследования показали, что для эффективного пылеподавления необходимо проводить распыление водного аэрозоля с размером капель от 100 до 400 мкм. Для осаждения водного аэрозоля использовали приём, при котором сразу после мокрого пылеподавления в помещении на горизонтальную поверхность наносится слой кварцевого песка с размером частиц 100–200 мкм из расчёта 200–400 г на 1 м², это приводит к смешиванию тонкодисперсного аэрозольной фракции с более тяжёлыми взвешенными частицами песка, ассоциации которых оседают на горизонтальную поверхность песка. Исследования показали, что такой фракционный состав песка

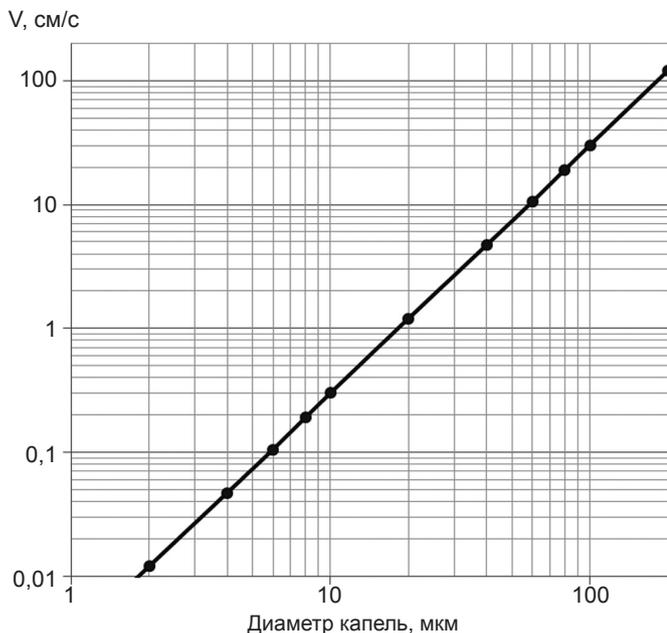


Рис. 4. Зависимость скорости осаждения капель воды от их размера.

является оптимальным, эффективность осаждения максимальная. Эти мероприятия позволили существенно понизить содержание в воздухе рабочей зоны мелкой фракции микронных размеров до допустимого содержания [24, 26] и существенно повысить эффективность дезактивации. Следующим этапом работы в перспективе будет создание методического документа, позволяющего учесть все гигиенические аспекты проведения таких работ, исходя из накопленного опыта при проведении этих исследований. Это позволит соблюдать требования радиационной безопасности по защите персонала.

Для оценки эффективности сухой дезактивации для разных типов дезактивируемой поверхности провели исследование мет-

лахской плитки, бетона, кирпича, ламината, дерева и мастичного покрытия, которые имели разный уровень загрязнения и разную пористость.

Технология дезактивации заключалась в следующем. Предварительно поверхность очищалась стандартными насадками различных типов, входящими в комплект промышленного пылесоса. Специально изготовленные насадки в виде щёток с металлическими щетинами различной длины и толщины использовались для механической дезактивации поверхности всех материалов. Для очистки воздушных масс использовались высокопроизводительные промышленные пылесосы типа NIFISK 3707/10 и DELFIN DG 200, укомплектованные HEPA-фильтрами-кассетами с эффективностью очистки до 99,9% и устройствами безопасной выгрузки отходов в специальные упаковки. Фильтры-кассеты обеспечены автоматической системой пневмоочистки, в ходе которой происходит сброс накопленного загрязнения в бункер-накопитель пылесоса [10]. Затем оценивали уровни загрязнения до и после дезактивации пластин стандартных размеров, которые имели разный уровень загрязнения, приведённый в табл. 2. Эффективность дезактивации рассчитывалась по величине коэффициента дезактивации по формуле:

$$K_d = \frac{(A_{до} - A_{но}) \cdot 100}{A_{до}}$$

где K_d – коэффициент дезактивации; $A_{до}$ и $A_{но}$ – уровни загрязнения до и после дезактивации.

В табл. 2 показана эффективность сухой дезактивации в зависимости от типа покрытия и величины поверхностного загрязнения. В результате установлено, что K_d зависит от величины исходного загрязнения α -излучающими нуклидами.

Выявили, что для бетонных покрытий K_d меняется от 90,8 до 97,8% при увеличении загрязнения в 2 раза от $4 \cdot 10^4$ до $8 \cdot 10^4$ $\text{част/см}^2 \cdot \text{мин}$; для кирпича K_d понижается несущественно с увеличением загрязнения с 86 до 85%; для дерева K_d небольшое и ещё существенно понижается от 59,9 до 38,8% с увеличением активности на порядок с $3,7 \cdot 10^4$ до $14 \cdot 10^4$ $\text{част/см}^2 \cdot \text{мин}$; для метлахской плитки составляет ещё меньшую величину – до 29%; а для клейких поверхностей типа мастичных покрытий не превышает 22–28%; битумное покрытие не превышает 15,9–20%.

Таблица 2

Эффективность дезактивации в зависимости от типа покрытия и величины поверхностного загрязнения α -излучающими нуклидами

Тип покрытия	Поверхностное загрязнение α -излучающими нуклидами, $\text{частиц/см}^2 \cdot \text{мин}$		Эффективность дезактивации (K_d), %
	до дезактивации ($A_{до}$)	после дезактивации ($A_{но}$)	
Бетонная стяжка	$4,0 \cdot 10^4$	$3,7 \cdot 10^3$	90,8
	$4,5 \cdot 10^4$	$4,0 \cdot 10^3$	91,1
	$5,5 \cdot 10^4$	$3,0 \cdot 10^3$	94,5
	$8,0 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^3$	97,8
Кирпич	$3,0 \cdot 10^4$	$4,2 \cdot 10^3$	86,0
	$3,5 \cdot 10^4$	$5,2 \cdot 10^3$	85,1
Дерево	$3,7 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$	59,5
	$14,7 \cdot 10^4$	$9,0 \cdot 10^4$	38,8
Ламинат	$4,5 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$	44,4
Метлахская плитка	$3,7 \cdot 10^3$	$2,8 \cdot 10^3$	24,3
	$9,2 \cdot 10^3$	$6,5 \cdot 10^3$	29,3
Мастичное покрытие	$4,3 \cdot 10^3$	$3,3 \cdot 10^3$	23,3
	$4,7 \cdot 10^3$	$3,7 \cdot 10^3$	22,3
	$3,7 \cdot 10^3$	$2,6 \cdot 10^3$	28,8
Битум	170	143	15,9
	240	192	20,0

Заключение

1. Кластерный анализ данных позволил выделить 4 кластера по уровню поверхностного радиоактивного загрязнения для α - и β -радионуклидов, которые легли в основу деления радиоактивного загрязнения рабочих поверхностей, оборудования, для разных материалов на 4 зоны: зона I – уровни α - и β -загрязнения превышают 50 и 10 000 частиц/см²·мин соответственно; для зоны II загрязнение от 5 до 50 для α -частиц и от 2000 до 10 000 для β -частиц/см²·мин; зона III – не более 5 α -частиц/см²·мин и 2000 частиц/см²·мин для β -радионуклидов; IV зона соответствует фоновым значениям поверхностей рабочих помещений.

2. Для повышения эффективности пылеподавления тонкодисперсной аэрозольной фракции в дезактивируемом помещении предварительно необходимо проводить распыление водного аэрозоля с размером капель от 100 до 400 мкм, затем сразу на горизонтальную поверхность нанести слой кварцевого песка с размером частиц 100–200 мкм из расчёта 200–400 г на 1 м².

3. В результате проведения сухой дезактивации установлено, что коэффициент дезактивации зависит от типа материала покрытия и величины поверхностного загрязнения: для бетонных покрытий K_d колеблется от 91 до 97,8%; для кирпича – 85–86%, дерева – 38,8–53%; метлахской плитки – до 29%; мастичных покрытий – 22–28%; битумного покрытия – 15,9–20%. Таким образом, применение сухого метода дезактивации оправдано для пористых материалов и гладких поверхностей, а целесообразность очистки клейких поверхностей должна оцениваться экономическими затратами.

4. При сухом методе дезактивации особое внимание следует уделять способам защиты персонала от воздействия тонкодисперсной аэрозольной фракции PM_{10} и $PM_{2,5}$.

Литература

1. Родионов В.В., Щеглов М.Ю. Реагентная дезактивация грунтовых материалов. *Безопасность окружающей среды*. 2006; 1: 40–8.
2. Иванов В.Б., Снытин С.Ю. *Анализ и оценка уровня радиационной безопасности предприятия «Московского завода полиметаллов»*. ООО «Антекс Консалтинг». М.; 2003. 36 с.
3. Теплицкий А.Л., Онкин А.И., Кистанов Е.М. *Проведение дезактивации участков радиоактивного загрязнения территории промплощадки*. ГУП НТЦ «Эксперт» МО РФ ЗАО СМП. М.; 2002. 21 с.
4. Коренков И.П., Лашенова Т.Н., Невейкин П.П., Шандала Н.К. Актуальные проблемы обеспечения радиационной безопасности населения при выводе из эксплуатации радиационно опасных объектов и территорий. *Сборник материалов VIII Международного симпозиума «Экология человека и медико-биологическая безопасность населения», Венгрия-Австрия; 20-29 октября 2012 г.*
5. Баринов А.С., Прозоров Л.Б., Николаевский В.Б. и др. Патент RU2211293С2. Способ электрокинетической очистки грунтов от радиоактивных и токсических материалов. Опубликовано 27.08.2003, бюлл. 24.
6. Емец Е.П., Полуэтов В.П., Хрибров С.А. Способ очистки металлических поверхностей от радиоактивного загрязнения. Патент на изобретение, RU 2210123 от 10.09.2003.
7. Отчёт о выполнении НИР по «Подготовке и проведению работ по предотвращению крупномасштабного загрязнения губы Андреева РНЦ «Курчатовский институт». М.; 2000. 45 с.
8. Волков В.Г., Волкович А.Г., Иванов А.П. и соавт. Основные принципы и предложения по реабилитации радиоактивно загрязнённых объектов и территорий КЧХК. *Атомная энергия*. 2009; 107 (Вып. 2): 75–81.
9. Волков В.Г., Звернов Ю.А., Иванов О.П. Дезактивация радиоактивного загрязнения грунта в РНЦ «Курчатовский институт». *Атомная энергия*. 2007; Т. 103, Вып. 6: 381–2.
10. Майзик А.Б., Кузнецов А.Ю., Цовьянов А.Г., Коренков И.П., Лашенова Т.Н. Организационно-методические подходы при выводе из эксплуатации радиационно опасных объектов. *АНРИ*. 2017; 1(88): 55–61.
11. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). М.; 2009. 100 с.
12. СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010). М.; 2010. СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010). М.; 2010.
13. Сафронов В.Г., Осминов А.М. Результаты реабилитационных работ Центра ТПТ и РАР. *Сборник трудов к 50-летию ГУП МОСНПО «Радон»*. Сергиев Посад; 2010; с. 90–6.

14. Николаевский В.Б., Лашенова Т.Н., Девкин В.Б. Разработка и испытания реагента – сепарационной технологии очистки грунта. *Сборник трудов к 50-летию ГУП МОСНПО «Радон»*. Сергиев Посад, 2010; 188–97.
15. Ермаков А.И., Семенова С.В., Коренков И.П., Лашенова Т.Н., Майзик А.Б. Радиационно-гигиенические подходы при выводе из эксплуатации объектов, загрязнённых техногенными α -излучателями. *АНРИ*. 2016; 4: 58–65.
16. *Краткий справочник химика*. М.: Государственное научно-техническое издательство; 2015. 550 с.
17. Зимон А.Д., Пикалев В.К. *Дезактивация*. М.: ИздАт; 1998. 336 с.
18. *Сборник инструкций по радиационному обследованию зданий, помещений, оборудования и отходов демонтажа при выводе из эксплуатации объектов для предварительной сортировки РАО по категориям и оценки их активности*. М.: Квант; 2014.
19. Стандарт организации. Объекты использования атомной энергии. Дезактивация оборудования и помещений при выводе из эксплуатации ядерно-радиационно опасных объектов (ЯРОО). Требования к применениям технологий производства работ. СТО СРО-П 60542948 00049-2017.
20. Алексеев Б.В., Егоров Б.Н., Марченко В.А. и др. *Новый справочник химика-технолога. Радиоактивные вещества. С-115 ППО*. М.: АНО НПО «Профессионал»; 2009: 114–20.
21. Критерии и нормативы реабилитации территорий и объектов, загрязнённых техногенными радионуклидами. Руководство Р 2.6.1.25-07. М.: ФМБА; 2007: 23.
22. Гигиенические требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при проектировании работ с ОЯТ и РАО. Руководство Р-ГТП СевРАО-07, ГНЦ ИБФ-2007.
23. Отчёт по теме «Обоснование комплекса мероприятий по приведению корпуса «Б» ОАО «ВНИИИМ» в радиационно безопасное состояние». Этап III. М.; 2014.
24. ГОСТ Р ИСО 7708-2006. Качество воздуха. Определение гранулометрического состава частиц при санитарно-гигиеническом контроле.
25. ГОСТ Р 54578-2011 «Воздух рабочей зоны. аэрозоли преимущественно фиброгенного действия. Общие принципы гигиенического контроля и оценки воздействия»
26. ГН 2.1.6.1338-03. Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.2604-10. Дополнение № 8 к ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест».

References

1. Rodionov V.V., Shcheglov M.Yu. Reagent decontamination of soil materials. *Ecological Security*. 2006; 1: 40–8. (in Russian)
2. Ivanov V.B., Snytin S.Yu. *Analysis and assessment of the level of radiological safety of the enterprise "Moscow Polymetallic Plant"*. PA "Antek Consulting". Moscow; 2003. 36 p. (in Russian)
3. Teplitsky A.L., Onken A.I., Kistanov E.M. *Decontamination of the sites of radioactive impurity of the territory of the industrial site*. FSUE "STC "EXPERT" MO RF JSC SMP. M. M.; 2002. 21 p. (in Russian)
4. Korenkov I.P., Lashchenova T.N., Neveykin P.P., Shandala N.K. Actual problems of ensuring radiation safety of the population during decommissioning of radiation-hazardous objects and waste areas. *Collection of materials VIII International Symposium "Human Ecology and Medical and Biological Safety of the Population"*. Hungary–Austria; 20–29 October 2012. (in Russian)
5. Barinov A.S., Prozorov L.B., Nikolaev V.B. et al. The Patent RU2211293C2. A method of electrokinetic cleaning of soils from radioactive and toxic materials. Published 27.08.2003, bull. 24. (in Russian)
6. Emets E.P., Poluektov V.P., Khrabrov S.A. Method of cleaning metal surfaces from radioactive contamination. Patent for invention. RU 2210123; 10.09.2003. (in Russian)
7. The report on carrying-out research of the Preparation and carrying-out of works to prevent large-scale contamination of the Andreeva Bay the Russian research center "Kurchatov Institute". Moscow; 2000. 45 p. (in Russian)
8. Volkov V.G., Volkovich A.G., Ivanov A.P. et al. Main principles and proposals for the decontamination and rehabilitation of radioactively contaminated objects and areas of KCCC. *Atomic Energy*. 2009; 107, 2: 75–81. (in Russian)
9. Volkov V.G., Zvernov YU.A., Ivanov O.P. Decontamination of radioactive contamination of soil in the RRC "Kurchatov Institute". *Atomic energy*. 2007; 103, 6: 381–2. (in Russian)
10. Mayzik A.B., Kuznetsov A.Yu., Tsovyanov A.G., Korenkov I.P., Lashchenova T.N. Organizational and methodological approaches for the decommissioning of radiation-hazardous objects. *ANRI*. 2017; 1(88): 55–61. (in Russian)
11. SanPiN 2.6.1.2523-09. Norms of radiation safety (NRB-99/2009). Moscow; 2009. (in Russian)

12. SP 2.6.1.2612-10. Basic sanitary rules for ensuring radiation safety (OSPORB 99/2010). Moscow; 2010. with changes from 16.09.3013. (in Russian)
13. Safronov, V.G., Eminov A.M. The results of the rehabilitation work of the Center TPT and RAR. *Collection of works for the 50th anniversary of sue MOSNPO "Radon"*. Sergiev Posad; 2010: 90–6. (in Russian)
14. Nikolaevsky V.B., Lashchenova T.N., Devkin B.V. Development and testing of the reactant – separation technology, purification of soil. *Collection of works for the 50th anniversary of sue MOSNPO "Radon"*. Sergiev Posad; 2010: 188–97. (in Russian)
15. Ermakov A.I., Semenova S.V., Korenkov I.P., Lashchenova T.N., Mayzik A.B. Radiation-hygienic approaches for the decommissioning of objects contaminated with technogenic α -emitters. *ANRI*. 2016; 4: 58–65. (in Russian)
16. Quick reference chemist. Moscow: State scientific and technical publishing house; 2015. 550 p. (in Russian)
17. Simon A.D., Pikalov V.K. Decontamination. Moscow: IzdAt; 1998. 336 p. (in Russian)
18. Sorting of RW by categories and assessing their activity. Moscow: Kvant; 2014. (in Russian)
19. The standard of the objects of use of atomic energy. Decontamination of equipment and facilities during decommissioning of nuclear- and radiation-hazardous objects (NRHO). Requirements for applications of manufacturing technologies Robusto SRO-P 60542948 00049-2017. (in Russian)
20. Alekseev B.V., Egorov B.N. Marchenko V.A. et al. New guide of chemist-technologist. Radioactive materials. P-115 PPO, Professional. 2009: 11–420. (in Russian)
21. Criteria and standards of rehabilitation of territories and objects contaminated by technogenic radionuclides. Manual P 2.6.1.25-07. Moscow: FMBA, 2007: 23. (in Russian)
22. Hygienic requirements for ensuring radiation safety of personnel and the public when designing work with spent nuclear fuel and radioactive waste. Guide R-GTP SevRAO-07, SSC IBF-2007. (in Russian)
23. Report on the topic "Substantiation of a set of measures to bring the building" B "of JSC" VNIINM "into a radiation-safe state". Stage III. Moscow; 2014. (in Russian)
24. Air quality 7708-2006. Particle size fraction definitions for health-related sampling. (in Russian)
25. Air quality 54578-2011. Workplace air quality. Predominantly fibrogenic aerosols. General principles for hygienic regulation, monitoring and evaluation. (in Russian)
26. GN 2.1.6.1338-03. Hygienic standards GN 2.1.6.2604-10. Supplement No. 8 to GN 2.1.6.1338-03 "Maximum permissible concentrations (MPC) of pollutants in the atmospheric air of populated areas". (in Russian)