

Лабораторная работа №6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОАКТИВНОЙ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ МЕТОДОМ МАЗКОВ

Введение

Рабочая и нерабочая поверхности помещений при загрязнении их радиоактивными веществами становятся источниками внешнего ионизирующего излучения, а контакт с ними приводит к облучению работающих и загрязнению рабочей одежды радионуклидами. Поэтому необходимо систематически проводить дозиметрический контроль поверхностей в рабочих помещениях.

В целях контроля радиоактивного загрязнения рабочих поверхностей планы всех таких поверхностей и производственных помещений наносятся на специальные картограммы. На картограмме указываются контрольные точки, в которых периодически по графику производят дозиметрический контроль поверхностей. Полученные результаты измерений заносятся в журнал плановых замеров.

Для определения радиоактивного загрязнения поверхностей и других объектов на практике обычно применяется метод мазков. Он позволяет определить лишь порядок величины загрязнения, а не его точное значение. Данный метод применим в следующих случаях:

- 1) при повышении гамма-фона, мешающего применению переносных радиометров;
- 2) когда форма поверхности ограничивает применение переносных радиометров.

С помощью мазков можно определить величину снимаемой (нефиксированной) радиоактивной загрязненности поверхностей рабочих помещений, оборудования, транспорта и т. п.

Принцип метода

Метод мазков – это способ измерения уровней радиоактивного загрязнения поверхностей путем определения активности, снятой с контролируемой поверхности контактным путем на сорбент. В качестве сорбента используют следующие материалы: хлопчатобумажную ткань, марлю, фильтровальную бумагу, ватные тампоны. Различают метод сухих и влажных мазков. При отборе пробы методом влажных мазков сорбент смачивают в дистиллированной воде или в разбавленной азотной кислоте (1 – 1,5н.) либо этиловом спирте, что повышает долю снимаемой активности с загрязненной поверхности. Сухие мазки отбирают обычно фильтровальной бумагой, влажные – при помощи любого другого из указанных выше материалов. Часто мазки, смоченные в разбавленной азотной кислоте, называют кислыми мазками.

Наиболее удобными являются влажные мазки. На сухих мазках наблюдается большой разброс в показаниях. Кислые мазки допускаются в крайних случаях, так как кислота разъедает внешний слой ряда поверхностей и результаты измерения могут искажаться за счет смешивания фиксированного и нефиксированного загрязнений.

Измерение радиоактивного загрязнения поверхностей методом мазков является наиболее показательным для оценки опасности, которую могут представлять загрязненные радиоактивными веществами поверхности как источники внутреннего облучения. Метод мазков дает, в первую очередь, возможность непосредственного измерения нефиксированной активности, т.е. того радиоактивного вещества, которое может переходить контактным путем на обувь, спецодежду, открытые участки тела работающих, а также поступать в воздух рабочих помещений из-за сдувки их потоками воздуха, образуемого при движении людей, вследствие вентиляции и при выполнении тех или иных технологических операций.

Метод мазков для измерения уровней загрязненности поверхностей рабочих помещений, тары, транспорта используют в первую очередь в тех случаях, когда более существенным является оценка нефиксированной загрязненности. Кроме того, метод мазков применяют при наличии в помещениях значительного гамма-фона, когда загрязненность бета-излучающими веществами не может быть определена при помощи приборов. В ряде случаев, когда представляется затруднительным или невозможным приблизить датчик прибора к измеряемой поверхности или отдельному загрязненному участку, метод мазков используют и при относительно малом фоне гамма-излучения.

При измерении загрязненности поверхностей альфа-излучающими веществами следует иметь в виду, что даже тонкая пленка масла или другой жидкости в несколько десятков микрометров, покрывающая радиоактивный слой, может поглотить альфа-частицы, и прямое измерение их потока, исходящего из загрязненной поверхности, может дать ложное представление об истинной активности, накопившейся на рабочей поверхности. Поэтому при контроле загрязненности альфа-излучающими веществами рабочих поверхностей, в особенности при выполнении ремонтных работ, предпочтительнее использовать метод мазков.

Уровень радиоактивной загрязненности поверхности в месте пробоотбора равен:

$$q = A / (K - S) \text{ част} / (\text{см}^2 \cdot \text{мин}),$$

где S – площадь, с которой отобран мазок, см^2 ;

A – поток бета-частиц от пробы в телесном угле 2π , част / ($\text{см}^2 \cdot \text{мин}$);

K – коэффициент снятия мазка, т.е. доля активности, перешедшая с отбираемой площади на сорбент контактным путем.

Экспериментально доказано, что коэффициент снятия мазка практически не зависит от материала, при помощи которого отбирается мазок (молескин, марля, вата, вафельная ткань). Для поверхностей из железа, алюминия, нержавеющей стали, пластика коэффициент снятия влажного мазка (спиртовой, водный или кислотный) можно принять $K = 0,5$. Среднее значение коэффициента снятия сухого мазка $K = 0,1$. Для повторных мазков с одного и того же места (вплоть до пятикратных) $K = 0,20 + 0,02$, т.е. по активности

первичного мазка можно судить достаточно точно об уровне нефиксированной активности на загрязненной поверхности.

В табл. 11 представлены коэффициенты снятия для различных мазков. Следует помнить, что данные коэффициенты нельзя использовать для пористых материалов (бетон, кирпич и т. д.).

Таблица 11. Коэффициент снятия мазка

№ п.п.	Метод снятия	Средний коэффициент, К
1	Сухая фильтровальная бумага	0,2
2	Марлевый тампон, смоченный водой	0,6
3	Марлевый тампон, увлажненный 1 – 1,5н. раствором азотной кислоты	0,9
4	Последовательный, двумя тампонами: увлажненным тампоном 1 – 1,5н. раствором азотной кислоты, затем сухим тампоном	0,9 – 1,0

Для других материалов коэффициент снятия можно определить следующим образом. Берется несколько образцов исследуемой поверхности, на которые наносятся соответствующие радиоактивные вещества с известной поверхностной активностью загрязнения. По методике, изложенной ниже, с каждого образца снимается мазок. Чтобы избежать субъективных ошибок, мазки должны отбирать несколько человек. Далее для каждого мазка определяется коэффициент снятия K_i по формуле

$$K_i = A_m / A, \quad (1)$$

где A_m – полная активность мазка, Бк;

A – полная активность протертой поверхности, Бк, определяемая формулой

$$A = A_s \cdot S,$$

где A_s – известная поверхностная активность в Бк/см²;

S – площадь, с которой взят мазок, см².

Средний коэффициент снятия мазка определяется по формуле

$$K_{cp} = \sum_{i=1}^n K_i / n.$$

Для получения достаточной статистической точности $n = 10 \div 20$.

Порядок проведения контроля методом мазков

Контроль радиоактивной загрязненности поверхностей методом мазков можно разделить на следующие этапы:

- 1) подготовка к взятию мазка;
- 2) отбор пробы при помощи мазка;
- 3) измерение активности отобранной пробы;
- 4) определение уровня загрязненности.

Для массового отбора пробы методом влажных мазков следует предварительно приготовить тампоны размером 4×4 см и толщиной 1 – 1,5 см из марли, ваты или молескина. Затем эти тампоны смочить в воде, спирте или в заранее приготовленном 1–1,5н. растворе азотной кислоты. Тампоны удобнее смачивать в плоской стеклянной посуде. Для снятия сухих мазков приготавливают листки фильтровальной бумаги 3×4 или 4×5 см. Из всего количества приготовленных тампонов отбирают 2 – 3% и проверяют их фоновую активность на соответствующих радиометрических установках. Затем готовые тампоны укладывают в пронумерованные конверты. Для удобства рекомендуется конверты с тампонами переносить в специальных чемоданах, разделенных на «чистое» и «грязное» отделения.

Процедура отбора пробы методом мазков. При всех операциях с мазками большое внимание должно уделяться чистоте. Подготавливают и измеряют мазки в чистом помещении. Перед началом работы необходимо протереть стол и положить на него чистый лист бумаги. Мазки берут с поверхности площадью 100 см². Если это невозможно, то берут с меньшей, но пересчитывают на площадь 1 см².

Для снятия сухого мазка фильтровальную бумагу стандартных размеров прижимают к загрязненному участку и дважды протирают его. При использовании влажных мазков при помощи трафарета из проволоки или каким-либо другим методом фиксируют площадь, с которой должен быть отобран мазок. Затем увлажненный и отжатый тампон прижимают к углу контролируемого участка поверхности и параллельно одному из краев последовательно переставляют его так, чтобы пройти тампоном один раз в одном направлении по всей поверхности. Повторяют операцию, прижимая тампон к поверхности, тем же местом, но перемещают его перпендикулярно первому направлению движения тампона. После взятия мазка тампон складывают загрязненной поверхностью внутрь и помещают его в конверт.

Чтобы более тщательно контролировать загрязненность поверхности, применяют трехкратное взятие мазков. Для этой цели необходимо иметь три тампона: два увлажненных и один сухой. Поверхность протирают сначала одним влажным тампоном, затем другим, после чего насухо вытирают третьим. Все три тампона складывают в один конверт или чашку Петри и относят в лабораторию.

Величину активности мазка измеряют на приборах типа РУП, СПАР, ТИСС либо на радиометрических установках типа ПП-8, «Волна», КРВП-ЗБ и др. В некоторых случаях пробу можно предварительно озолить в муфельной печи. Но в этом случае надо быть уверенным, что в составе загрязненности отсутствуют летучие радионуклиды.

На основе результатов измерения активности мазка можно судить об уровне нефиксированной загрязненности участка поверхности, с которого был отобран этот мазок. По формуле (1) можно оценить общий уровень загрязненности данного участка с точностью, с которой определен коэффициент снятия мазка. Чтобы судить об уровне радиоактивной загрязненности помещения в целом, а не отдельных его участков, следует оценить представительность отобранного массива проб, т.е. решить вопрос о представительности результатов контроля в пространстве и времени.

Представительность отбора проб и объем контроля

Характер распределения радиоактивной загрязненности поверхностей помещения и оборудования отличается большим разнообразием, так же, как и хронологическая картина изменения уровней загрязненности в одной и той же точке. Применительно к задачам дозиметрического контроля можно выделить две полярные ситуации:

- локальная загрязненность, о которой становится известно в момент ее образования и которую технологически возможно и целесообразно ликвидировать или оградить сразу же, если уровень загрязненности превысит выбранное службой радиационной безопасности рабочее контрольное значение;

- радиоактивная загрязненность равновероятна практически в любой точке контролируемого помещения или оборудования, причем технологически невозможно или нецелесообразно фиксировать каждый случай образования новой локальной загрязненности, в результате чего загрязненность в каждой точке приходится рассматривать и как равновероятное во времени. Такая ситуация реализуется, например, при проведении интенсивных ремонтных работ практически на всех участках рабочего помещения и при интенсивном перемещении большого количества людей.

Во втором случае контролируемый участок поверхности равномерно по площади разбивается на элементарные ячейки, в центре которых отбирается проба. Представительность проб для всего участка будет обеспечена, если выполняются два требования:

- общее число проб, отобранных по всему участку, должно обеспечить приемлемую статистическую точность определения среднего по всей площади участка уровня загрязнения;

- площадь элементарной ячейки, которую представляет одна проба, должна быть достаточно малой, чтобы гарантировать отсутствие незамеченных пятен, содержащих радиоактивное вещество в количестве, соизмеримом с общим содержанием вещества на всем участке.

Необходимое число проб оценивают в соответствии с формулой

$$n \geq 1 + (\ln \beta / \sigma)^2, \quad (2)$$

где σ – это абсолютная средняя квадратическая погрешность, характеризующая возможную кратность завышения или занижения уровня загрязненности поверхности;

β – стандартное геометрическое отклонение. Значение стандартного геометрического отклонения β для различных рабочих помещений зависит от конкретных условий производства и характера работ, проводимых в контролируемый период. В табл.12 представлено число проб n , необходимое для обеспечения выбранной относительной средней квадратической погрешности при разных значениях стандартного геометрического отклонения β .

Таблица 12. Необходимое число проб n

σ	Геометрическое отклонение β						
	2	2,5	3	3,5	4	5	6
0,2	13	22	32	41	48	67	82
0,3	7	11	15	19	22	31	37
0,5	3	5	6	8	9	12	14
0,7	2	3	4	5	5	7	8

В связи с существенной зависимостью объема измерений от величины β конкретные для каждого периода контроля значения стандартного геометрического отклонения рекомендуется уточнить по нескольким первым сериям проб и при неизменном характере работ руководствоваться данными табл.12. Уточнение осуществляется следующим образом: производится 10 (и более) проб, далее из табл.12 выбирается значение σ и, используя формулу (2), находится значение β . Данный способ определения стандартного геометрического отклонения нельзя считать идеальным. В противном случае, когда величина β неизвестна, следует ориентироваться на максимальное значение $\beta = 5$.

Выбор значения параметра σ , которым руководствуются при установлении объема измерений по табл.12, осуществляется с учетом общей площади контролируемой поверхности, периодичности измерений и целей контроля. Типичные ситуации представлены в табл.13.

Локальной загрязненностью условно называется загрязненность площади S_1 , меньшей 0,1 площади всей контролируемой поверхности S , и с содержанием радиоактивного вещества, соизмеримого или превышающего содержание вещества на всей поверхности при средней плотности загрязненности, равной допустимой ДЗ_А:

$$q \cdot S_i \geq 0,3D_A \cdot S,$$

где q – средняя плотность локальной загрязненности.

Таблица 13. Рекомендуемые значения параметра σ для типовых ситуаций контроля уровней загрязненности поверхностей

Ситуация	Значение σ
Передача оборудования для применения в неконтролируемых условиях («чистые» помещения)	0,2
Профилактический ежемесячный (ежеквартальный) контроль «чистых» помещений и территорий, примыкающих к «грязным» рабочим помещениям	0,2
Контроль внутренних поверхностей герметизируемого оборудования (например, боксов) до и после ремонтных и наладочных работ	0,2
Еженедельный контроль помещений на пути следования из основных рабочих помещений в «чистые»	0,3
Ежедневный контроль основных рабочих помещений	0,3
Ежесменный контроль основных рабочих помещений	0,5
Оценка уровня свежего локального загрязнения площадью менее 10 м ²	0,7

Необходимо подчеркнуть, что в любом рабочем помещении всегда существуют места с более вероятной или менее вероятной загрязненностью поверхности, которые работники службы радиационной безопасности должны четко представлять исходя из характера проводимых работ, основных маршрутов перемещения людей и т. д. Чем больше общая площадь контролируемого помещения, тем чаще ситуация сводится к контролю локальной загрязненности и уровней загрязненности остальных участков помещения. Наличие четкого представления о геометрической картине общей загрязненности позволяет оптимизировать объем измерений.

Периодичность измерений

Периодичность измерений уровней загрязненности поверхностей методом мазков устанавливают исходя из основных целей контроля, т. е. из тех альтернативных вопросов, которые будут разрешены в результате очередной серии измерений. По существу, **измерение уровней загрязненности призвано ответить на один вопрос** – следует ли проводить дезактивацию контролируемого участка. К этому вопросу **добавляется вспомогательный** – нужно ли проводить дополнительное, более детальное обследование контролируемого участка для выяснения, например, причины обнаруженного контактного переноса загрязненности, с последующим выводом об изменении санитарно-пропускного режима и целесообразности проведения дезактивационных работ. Таким образом, устанавливаемая периодичность измерений уровней загрязненности прямо связана с конкретной тактикой осуществления дезактивационных работ, принятой для конкретных условий каждого рабочего помещения. Например, в помещении, где практически на всей площади проводятся ремонтные работы, сопровождающиеся постоянными выбросами радиоактивного вещества, достаточно часто в пределах одной рабочей смены и постоянно в течение многих дней тактика дезактивационных работ диктуется, во-первых, ограничением контактного разноса радиоактивной загрязненности за пределы рабочего помещения, и, кроме того, возможностью дезактивации «старых» загрязнений. Следовательно, главный упор должен делаться на контроль за загрязненностью пола в помещениях, примыкающих к ремонтному. Очевидно, измерения должны проводиться ежесменно после прохождения основной массы людей. При проведении работ, сопровождающихся локальным радиоактивным загрязнением, чаще всего необходимость дезактивации ясна без каких-либо измерений. Так что дезактивацию локальной загрязненности после завершения соответствующих операций можно считать просто завершающей рабочей операцией. Необходимость в измерениях возникает в редких случаях образования локальной загрязненности, соизмеримой с допустимой, когда действительно встает вопрос о целесообразности дезактивационных работ. Некоторые типичные ситуации, требующие определенной периодичности измерений уровней загрязненности поверхностей, представлены в приложении 1.

Задача 1. Определение радиоактивной загрязненности поверхностей методом мазков.

Оборудование и приборы.

1. Образцы из различных материалов с поверхностным загрязнением радионуклидами K-40 и Cs-137 площади 1 м².

2. Ватные и марлевые тампоны.
3. Бумажные конверты (калька), чашки Петри.
4. Дистиллированная вода.
5. Фильтровальная бумага.
6. Радиометр КРВП-ЗАБ или аналогичный.

Порядок выполнения задания:

- 1) включите и подготовьте радиометр к работе;
- 2) проверьте правильность работы пересчетного блока;
- 3) измерьте фон в течение 10 мин. Определите скорость счета фона $N_{\text{ф}}$;
- 4) изготовьте ватно-марлевые тампоны по 3 на каждый объект исследования;
- 5) проверьте фоновую активность 2–3% приготовленных тампонов. Для этого поместите указанное количество тампонов в кювету радиометра и произведите измерения в течение 10 мин. Рассчитайте скорость счета $N_{\text{Т}}$ и сравните со скоростью счета фона $N_{\text{ф}}$. Если измеренная скорость счета мало отличается от фоновой, то при расчетах учитывают только скорость счета фона $N_{\text{ф}}$. В противном случае необходимо будет учитывать скорость счета $N_{\text{Т}}$;

- б) разбейте исследуемую поверхность на участки 100 см² или меньше, если площадь поверхности

ограничена;

7) произведите отбор пробы методом мазков согласно методике, изложенной в разделе 2. Все три тампона уложите в одну чашку Петри или в один бумажный конверт;

8) определите коэффициент эффективности счета ζ данного радиометра, используя эталонный источник;

9) поместите все три тампона в детекторный блок и произведите измерения в течение 10 мин. Рассчитайте скорость счета N ;

10) рассчитайте активность мазка A_M по формуле

$$A_M = \zeta \cdot (N - N_{\Phi}) / 2;$$

11) зная коэффициент снятия мазка K (определите по табл. 1), рассчитайте уровень радиоактивной загрязненности поверхности по формуле (1);

12) сделайте вывод, используя приложения 2 и 3, о загрязненности исследуемого объекта β -излучающими радионуклидами;

13) произведите количественную оценку «снимаемого» загрязнения Q в единицах допустимого уровня загрязнения поверхностей DZ_A по формуле

$$Q = \frac{A_m \cdot 100\%}{DZ_A \cdot S \cdot K};$$

14) повторите пункты 6–13 для последующих предложенных объектов исследования.

Задачи 2. Расчетно-практические задачи по методу мазков.

Для решения расчетно-практических задач используйте приложения 1–4.

1. Проводится профилактический ежеквартальный контроль «чистых» помещений. Определите необходимое число проб, если $\beta=3,5$.

2. Необходимо оценить уровень локального загрязнения. Стандартное геометрическое отклонение неизвестно. Сколько проб необходимо отобрать?

3. Происходит передача оборудования для применения в неконтролируемых условиях, стандартное геометрическое отклонение равно 6. Оцените объем контроля.

4. Идет ремонт внутри герметизируемого оборудования, объектом контроля являются внутренние поверхности. Определите периодичность измерений и необходимое число проб, если стандартное геометрическое отклонение неизвестно. Какова цель данного контроля?

5. Известно об интенсивной радиоактивной загрязненности по всей площади рабочего помещения на протяжении всей смены. Определите, что в данном случае будет являться объектом контроля, периодичность и объем контроля, если $\beta = 4$.

6. Возможна локальная и общая радиоактивная загрязненность помещений и оборудования. Укажите цели измерения уровня загрязненности и необходимое число измерений, если $\beta = 2,5$.

7. Какова цель профилактического ежемесячного контроля уровня загрязненности рабочих помещений и оборудования? Что является объектом контроля и каков характер работ? Определите необходимое число проб при стандартном геометрическом отклонении, равном 3.

8. Средняя плотность локальной загрязненности бета-излучающими радионуклидами поверхности помещений постоянного пребывания персонала составляет 1500 част/(см²·мин) на площади $S_1 = 100$ см². Оцените, действительно ли это локальная загрязненность, если площадь контролируемой поверхности составляет 250 см².

9. Наружная поверхность транспортного контейнера имеет нефиксированное загрязнение бета-излучающими радионуклидами. Площадь контролируемой поверхности составляет 1000 см². Определите, является ли данное загрязнение локальным, если $q = 220$ част/(см²·мин) и площадь загрязнения – 50 см².

10. Объектом загрязнения является основная спецодежда, причем известно, что загрязнение произошло Sr-90. Средняя плотность локального загрязнения составляет 400 част/(см²·мин) на площади 130 см². Оцените, будет ли это загрязнение локальным, если величина площади всей основной спецодежды порядка 3,5 м².

11. Наружная поверхность вагона-контейнера загрязнена альфа-излучающими радионуклидами, причем вид загрязнения фиксированный. Можно ли назвать данное загрязнение локальным? Ответ обоснуйте.

12. Возможна загрязненность помещения из-за неучтенных причин альфа-излучающими радионуклидами. Укажите объект и цель контроля, его периодичность. Какое загрязнение в данном случае нормируется?

13. Известно, что произошло загрязнение поверхности помещения периодического пребывания персонала радионуклидами Cs-134 и Cs-137 с $q = 15000$ част/(см²·мин) на площади 200 см². Контролируемая площадь составляет 10 м². Будет ли данное загрязнение относиться к категории локальных? Если да, то укажите периодичность контроля, его объект и цель.

14. На кожные покровы попали радионуклиды плутония ($DK_A = 2 \cdot 10^{-15}$ Ки/л). Площадь загрязнения составляет 6,8 см². Контролируемая площадь порядка 40 см². Относится ли данное загрязнение к локальным, если $q = 2$ част/(см²·мин)?

Контрольные вопросы

1. В каких случаях применяют метод мазков?
2. Какой вид загрязнения контролируется с помощью метода мазков?
3. Какой способ измерения уровней радиоактивного загрязнения поверхностей называется методом мазков?
4. Какие мазки называют сухими, влажными и кислыми?
5. Какие мазки повышают долю снимаемой активности с загрязненной поверхности?

6. Обоснуйте, почему более удобным является метод влажных мазков.
7. Почему метод кислых мазков не всегда применим?
8. Активность какого вида излучения можно контролировать с помощью метода мазков?
9. Как определить уровень радиоактивной загрязненности поверхности?
10. Что характеризует коэффициент снятия мазка?
11. Какие параметры влияют на коэффициент снятия мазка?
12. Как экспериментально определяется коэффициент снятия мазка?
13. Как правильно отобрать пробу при помощи мазка?
14. С какой площади необходимо производить отбор мазков?
15. Определите понятие локальной загрязненности.
16. Поясните, как определить необходимое число проб для определения уровня загрязненности методом мазков.
17. Каким образом устанавливается периодичность измерений?
18. Какова основная цель измерения загрязненности помещений и рабочего оборудования?
19. Для чего контролируется фоновая активность 2–3% приготовленных мазков?
20. Что характеризует D_{3A} ?
21. Как произвести количественную оценку нефиксированного загрязнения?
22. Различаются ли допустимые уровни загрязнения поверхностей для альфа- и бета-излучающих радионуклидов? Если да, то для каких радионуклидов допускается меньшее значение D_{3A} при прочих равных условиях и почему?