

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	10
Список сокращений	12
ЧАСТЬ I. ОБЩАЯ ЧАСТЬ	15
Глава 1. Радиационно-гигиенический мониторинг.	17
1.1. Характеристика разных типов мониторинга	19
1.2. Принципы организации радиационно-гигиенического мониторинга	24
1.3. Мониторинг химического загрязнения окружающей среды.	29
1.4. Биологический мониторинг	36
1.5. Комплексное техногенное воздействие на окружающую среду	38
1.6. Организация комплексного мониторинга	41
1.7. Радиационно-гигиенический мониторинг окружающей среды при эксплуатации АЭС	47
1.8. Радиационный контроль при выводе из эксплуатации радиационно опасных объектов.	61
1.9. Основные радиоэкологические критерии вывода из эксплуатации и рекультивация территории	62
1.10. Организация и проведение радиационного контроля при рекультивации территорий, загрязненных в результате деятельности предприятий по добыче и переработке урановых руд	65
1.11. Организация и проведение радиационного обследования территорий, реабилитированных после загрязнения природными радионуклидами (неядерные отрасли промышленности).	67
1.12. Организация радиационного мониторинга на территории в районе проведения мирных ядерных взрывов	70
1.13. Вывод из эксплуатации приповерхностных хранилищ радиоактивных отходов низкой и средней активности. Консервация	71
1.14. Вариант конверсии	73
1.15. Ликвидация объекта во ВНИИНМ и ФЭК г. Обнинск (хранилище отходов)	73
1.16. Контроль радиационной обстановки в случае аварии	76
1.17. Организация контроля при проектных и запроектных радиационных авариях	78
Список литературы	79
Глава 2. Методы отбора проб окружающей среды	81
2.1. Общие требования к отбору проб.	81
2.2. Влияние техногенных выбросов на формирование загрязнения.	84
2.3. Дисперсный состав аэрозолей приземного слоя атмосферного воздуха	85

2.4. Отбор проб приземного слоя атмосферного воздуха	88
2.5. Отбор атмосферных выпадений, их подготовка и измерение удельной активности	97
2.6. Отбор проб природных вод	99
2.7. Отбор проб почвы	101
2.8. Отбор проб основных пищевых продуктов	103
2.9. Отбор проб химических загрязнителей	105
2.10. Мониторинг донных отложений	106
Список литературы	107
Глава 3. Контроль состояния окружающей среды	108
3.1. Соблюдение требований единства измерения при контроле состояния окружающей среды	109
3.2. Метрологические параметры установки и контроль качества анализа	114
3.3. Радиометрические методы измерения	121
3.4. Жидкосцинтилляционный метод регистрации радионуклидов	133
3.5. Спектрометрические методы и оценки проб окружающей среды	136
3.6. Измерение объемной активности инертных радиоактивных газов в выбросах	147
3.7. Химические методы контроля	149
Список литературы	155
ЧАСТЬ II. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	157
Глава 4. Мониторинг химического загрязнения окружающей среды	159
4.1. Содержание химических токсикантов	159
4.2. Мониторинг химического загрязнения окружающей среды на стадии эксплуатации радиационно опасного объекта	159
4.3. Организация мониторинга водных экосистем	163
4.4. Критерии оценки загрязнения почв	165
Список литературы	169
Глава 5. Оформление результатов измерений удельной активности радионуклидов в различных средах	171
5.1. Предпосылки получения достоверных результатов измерений	171
5.2. Принципы ведения записей результатов измерений в лаборатории	172
5.3. Требования к корректности оформления результатов измерений для протокола	173
5.4. Однозначность вывода при сравнении результата измерений с контрольным уровнем или иным нормативом	174
5.5. Предпосылки, приемлемость и виды представления результатов измерений как односторонне ограниченного диапазона с определенной верхней границей	176

5.6. Виды односторонне ограниченных диапазонов результатов измерений	177
5.7. Математическая обработка результатов измерений удельной активности радионуклидов в различных средах	180
5.8. Виды расчетных показателей	183
5.9. Расчет минимальной и максимальной удельной активности	185
Список литературы	188
Глава 6. Методы оценки экологического состояния окружающей среды	190
6.1. Атмосферный воздух. Общие требования	190
6.2. Определение содержания радионуклидов в пробах аэрозолей и выпадениях γ -спектрометрическим методом.	194
6.3. Измерения активности радионуклидов в строительных материалах	201
6.4. Определение объемной активности органических и неорганических соединений трития в водных объектах методом жидкосцинтилляционной спектрометрии.	203
6.5. Измерение углерода-14 в объектах окружающей среды.	212
6.6. Измерения удельной активности β -излучающих радионуклидов в твердых пробах с помощью жидкосцинтилляционного анализатора TRI-CARB2550 TR/AB	216
Список литературы	219
Глава 7. Радиохимические методы определения радионуклидов в окружающей среде	221
7.1. Радиохимические методы	221
7.2. Определение стронция-90 в поверхностных пресных водах	223
7.3. Отбор и первичная обработка проб морской воды для определения содержания стронция-90.	225
7.4. Определение удельной активности цезия-137 и стронция-90 в пробах пищевых продуктов, почвы и других объектах	225
7.5. Определение содержания стронция-90 в донных отложениях экстракцией дициклогексил-18-краун-6	233
7.6. Особенности анализа проб с высоким коэффициентом эманирования по радону.	237
7.7. Методика измерений объемной активности изотопов радия (226, 228) в природных водах γ -спектрометрическим методом с предварительным концентрированием	240
7.8. Методика измерения удельной активности радия-226 в минеральной и питьевой воде эманационным методом с использованием радиометра объемной активности Радона AlphaGUARD PQ 2000.	246
7.9. Измерение объемной активности изотопов радия (226, 228) в пробах природных вод с минерализацией до 5 мг/дм ³ α -, β -радиометры методом радиохимической подготовкой	250

7.10. Измерение суммарной α - и β -активности радионуклидов в гранулометрически охарактеризованных пробах грунта	252
7.11. Свинец-210 и полоний-210. Определение удельной активности в пробах почв, растительности и пищевых продуктов после электролитического осаждения на никелевом диске МУК 4.3.051-2011	254
7.12. Определение содержания полония-210 в пробах аэрозолей и выпадениях.	262
7.13. Рекомендуемая методика определения изотопов плутония в пробах окружающей среды	265
7.14. Рекомендуемые методики определения содержания изотопов тория и урана в твердых пробах окружающей среды методом α -спектрометрии	271
7.15. Методика определения радионуклидов в древесном сырье и изделиях из древесины и древесных материалов.	277
Список литературы	279
Глава 8. Экологическое исследование города, населенных пунктов, производственных и общественных зданий	280
8.1. Радиоэкологическое исследование территории	280
8.2. Оценка потенциальной радоноопасности земельных участков под строительство жилых, общественных и производственных зданий.	288
8.3. Основные требования к методам изысканий при выборе площадок для строительства.	300
8.4. Контроль за состоянием земельных участков	303
8.5. Радиационно-гигиеническое исследование помещений, загрязненных радионуклидами	305
Список литературы	312
Глава 9. Организация контроля и учета доз облучения населения	314
9.1. Индивидуальный контроль за внешним облучением.	314
9.2. Оценка индивидуальных доз облучения на местности.	317
9.3. Общие подходы к организации работ	320
9.4. Обработка и оформление результатов измерений.	322
9.5. Требования к оценке неопределенности результата измерений	325
9.6. Оценка годовых эффективных доз облучения населения	327
Список литературы	329
Глава 10. Информационное обеспечение системы контроля за качеством окружающей среды.	330
10.1. Информационные системы в области экологического мониторинга	331
10.2. Концептуальное проектирование	335
10.3. Практическая реализация СУБД-ориентированной структуры региональной системы экологического мониторинга	338

10.4. Методы формирования основных элементов экспертной системы	339
10.5. Обработка экспериментальных данных экологического мониторинга	342
Список литературы	344
Глава 11. Контроль облучения населения радоном в жилых и производственных помещениях	345
11.1. Физические величины	345
11.2. Нормативно-правовая база регулирования безопасности населения от радона	348
11.3. Система мониторинга облучения населения радоном и другими природными источниками излучения	349
11.4. Методы и средства измерения объемной активности радона	351
11.5. Методические особенности измерений содержания радона и дочерних продуктов распада в воздухе помещений	355
11.6. Методические подходы к оценке содержания радона в воздухе помещений	364
11.7. Оптимизация измерений	377
Список литературы	379
ЧАСТЬ III. ПРИЛОЖЕНИЯ	383
Приложение 1. Акт отбора проб	385
Приложение 2. Рекомендуемые параметры, периодичность отбора проб	386
Приложение 3. Перечень средств измерений объемной активности радона	388

Глава 2

МЕТОДЫ ОТБОРА ПРОБ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

При радиационно-гигиеническом мониторинге проводится отбор проб объектов окружающей среды для измерения радиационных и химических параметров.

Принципиального отличия в отборе проб в зависимости от вида контролируемых параметров для основных объектов мониторинга нет. Существующие тонкости при отборе проб под определенные измерения будут описаны ниже для каждого конкретного измерения.

При этом существуют единые требования при проведении радиационно-гигиенического мониторинга, которые рассмотрим подробнее. Эти требования должны обеспечиваться внедрением системы качества в подразделениях, которые занимаются этими работами в соответствии с требованиями стандартов. Следующий уровень — внедрение международной системы. Все работы должны проводиться в рамках действующих аттестатов аккредитации; специалисты подразделений, которые имеют соответствующие полномочия на данный вид деятельности, имеют соответствующие лицензии и полномочия.

Государственный радиационно-гигиенический мониторинг окружающей среды в зоне воздействия радиационно опасных объектов должен осуществляться с соблюдением принципа взаимной совместимости данных с применением единой системы классификаторов, кодов, единиц, входных и выходных форматов для согласованности с общей единой системой мониторинга.

2.1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОТБОРУ ПРОБ

Для определения уровня радиоактивного загрязнения почвы, воды, растительности и продуктов животноводства проводят отбор образцов и последующий анализ их в лаборатории. Основные требования, предъявляемые к образцам, — представительность, адекватность, стабильность, отсутствие каких-либо изменений, затрагивающих определяемые компоненты.

Основными задачами на этапе подготовки проб являются:

- ▶ определение массы пробы;
- ▶ обеспечение правильности выбора места и времени проведения отбора образцов;
- ▶ отбор репрезентативной пробы;
- ▶ соблюдение правильности режима подготовки образцов к анализу;
- ▶ обеспечение достоверности результатов измерения;
- ▶ грамотная обработка и выдача полученных результатов.

Эти требования привязаны к виду и уровню мониторинга, которые подробно описаны в главе 1 и могут существенно различаться. Отбор проб должен обеспечивать представительность исследуемых объектов мониторинга.

Расчет массы проб для анализа. При проведении контроля не превышения действующих нормативов нижнюю границу диапазона измерений величин необходимо устанавливать исходя из минимального значения норматива (H). Нижнюю границу диапазона измерения величин ($A_{\text{изм}}$) устанавливают, исходя из значения среднего фонового уровня радионуклидов в объектах окружающей среды в районе РОО.

Требуемые массу (m , кг), площадь (м^2), объем (м^3) пробы для анализа при контроле рассчитывают в соответствии с уровнем МИА используемой измерительной аппаратуры и минимальным значением норматива, установленного для одного из радионуклидов (H_i), определяемых в анализируемой пробе:

$$m = \text{МИА} / H_i, \quad (2.1)$$

где m — масса (объем) пробы, необходимая для анализа при контроле, кг (л, м^3); МИА — минимально измеряемая активность используемой аппаратуры, Бк; H_i — установленный норматив содержания i -радионуклида в воздухе, воде, пищевых продуктах и т.п., Бк/кг (л), Бк/ м^2 , Бк/ м^3 .

Также массу пробы можно рассчитать и из величины $A_{\text{изм}}$:

$$m = \text{МИА} / A_{\text{изм}}, \quad (2.2)$$

где m — масса (объем) пробы, необходимая для анализа при мониторинге, кг (л, м^3); Бк; $A_{\text{изм}}$ — среднее значение содержания радионуклидов в воздухе, воде, пищевых продуктах и так далее на наблюдаемой территории, Бк/кг (л), Бк/ м^2 , Бк/ м^3 .

При отборе проб объектов окружающей среды в контрольной точке для одновременного проведения контроля и мониторинга нужно исходить из массы (объема) пробы, необходимой для анализа при мониторинге.

Частота отбора проб:

- ▶ атмосферный воздух — не реже 1 раза в месяц;
- ▶ пробы почвы и донных отложений — не менее 2 (весенний и осенний периоды);
- ▶ вода открытых водоемов и морской воды — не менее 2 соответственно (весенний и осенний периоды);
- ▶ подземных вод — не менее 5 раз в год;
- ▶ растительности — не менее 5 (в весенний период);
- ▶ сельскохозяйственных продуктов — по 3 пробы для основных продуктов питания населения.

Представительность пробы для ЗН обеспечивается, как правило, приемлемой статистической точностью определения среднего значения уровня загрязнения.

При этом распределение уровня загрязненности по абсолютной величине можно описать логарифмически нормальной функцией:

$$f(g) dg = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \ln \beta} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{\lg(g/g_0)}{\ln \beta} \right]^2 \right\} d(\ln g), \quad (2.3)$$

где $f(g) dg$ — доля случаев попадания величины уровня загрязненности в интервал $g—g + dg$; g_0 — среднее геометрическое значение; β — стандартное геометрическое отклонение величины g от g_0 ; $\ln \beta$ — среднеквадратичное отклонение величины $\ln(g/g_0)$ от нуля:

$$\ln g_0 = \frac{1}{n} \sum_i^n \ln g_i. \quad (2.4)$$

Суммирование проводится по всем n -отобраным пробам; g — уровень измеренной загрязненности по i -пробе.

Среднее квадратическое отклонение (σ) величины от истинного значения оценивают по формуле:

$$\sigma(\ln g_0) = \sqrt{\frac{\sum_i^n (\ln g_i - \ln g_0)^2}{n(n-1)}}. \quad (2.5)$$

Величина g_0 оценивается на основе теории порядковых статистик. Из всей серии измерения ($g_1 \dots g_n$) последовательно отбрасывают пары из наибольших и наименьших значений. Оставшиеся после многократного повторения такой процедуры 2 или 3 значения (при n четном — 2 и нечетном — 3) дает интервал возможных значений g_0 . Статистическую погрешность в этом случае находят по формуле:

$$\sigma(\ln g_0) = \frac{\ln \beta}{\sqrt{n-1}}. \quad (2.6)$$

Необходимое количество проб для оценки уровня загрязненности по формуле:

$$n \geq 1 + (\ln \beta / \delta)^2, \quad (2.7)$$

где σ — абсолютная среднеквадратичная погрешность величины g_0 , найденной по описанной выше формуле.

В табл. 2.1 приведены значения количества проб, необходимые для обеспечения выбранной относительно среднеквадратичной погрешности при разных значениях β (стандартное геометрическое отклонение).

Значение β уточняют по нескольким первым сериям проб и при постоянном характере работы, руководствуясь значениями табл. 2.1. Как правило, β выбирают равной 2,5–3,0. Значения параметра σ выбирают с учетом общей

Таблица 2.1. Зависимость количества проб от стандартного геометрического отклонения и среднеквадратичной погрешности (σ)

Значение σ	Количество проб, n						
	Геометрическое отклонение, β						
	2	2,3	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

площади контролируемой поверхности, цели контроля и периодичности измерений.

Необходимо акцентировать внимание на требования по отбору и подготовке проб, направляемых на γ -спектрометрический анализ. *Отбор проб должен обеспечивать представительность исследуемых объектов и проводиться специалистами подразделений радиометрического контроля по соответствующим методикам.*

Перед отбором проб рекомендуется провести в месте отбора экспрессное измерение мощности дозы γ -излучения с помощью носимого дозиметра с занесением значения мощности дозы в сопроводительную записку на пробу.

Основными принципами пробоотбора являются:

- ▶ проверка однородности партии проб или представительности отбора проб на местности путем измерения мощности дозы с помощью носимых дозиметров (типа ДРГ-01Т и т.п.), обеспечивающих погрешность относительных измерений не менее 30%;
- ▶ отбор точечных проб, составление объединенной пробы и формирование средней пробы, поступающей на анализ.

2.2. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ВЫБРОСОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Нормирование техногенных выбросов

Закон «Об охране атмосферного воздуха» устанавливает требования о соблюдении предельно допустимых нагрузок вредных физических воздействий на здоровье человека и окружающую среду, включая и нормативы содержания радиоактивных веществ в атмосферном воздухе (ст. 12, 13).

Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» направлен на обеспечение государственного контроля за соблюдением действующих законодательных и нормативных документов, обеспечивающих нормальное состояние окружающей среды и здоровья населения. «...Государственные санитарно-эпидемиологические правила и нормативы — нормативные правовые акты, устанавливающие санитарно-эпидемиологические требования [в том числе критерии безопасности и (или) безвредности факторов среды обитания для человека, гигиенические и иные нормативы], несоблюдение которых создает угрозу жизни или здоровью человека, а также угрозу возникновения и распространения заболеваний...» (ст. 1). «Критерии безопасности и (или) безвредности условий работ с источниками физических факторов воздействия на человека, в том числе предельно допустимые уровни воздействия, устанавливаются санитарными правилами» (ст. 27).

Основными нормативными документами по обеспечению радиационной безопасности производственного персонала и населения в нашей стране являются «Нормы радиационной безопасности» (НРБ-99/2009), «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности» (ОСПОРБ-99/2010).

Особенностью нормирования качества атмосферного воздуха является зависимость воздействия загрязняющих веществ, присутствующих в воздухе, на здоровье населения не только от значения их концентраций, но и от продолжительности временного интервала, в течение которого человек дышит данным воздухом.

Поэтому в РФ, как и во всем мире, для загрязняющих веществ установлены 2 норматива:

- ▶ норматив, рассчитанный на короткий период воздействия загрязняющих веществ. Данный норматив называется «предельно допустимые максимально разовые»;
- ▶ норматив, рассчитанный на более продолжительный период воздействия (8 ч, сутки, по некоторым веществам год). В РФ данный норматив устанавливается для 24 ч и называется «предельно допустимые среднесуточные концентрации».

Для отдельного источника выбросов ПДВ — это выброс, при котором в районе расположения данного источника, с учетом влияния соседних источников концентрации примесей в атмосфере, не превысят ПДК.

Для каждого предприятия и каждого источника выбросов разрабатываются предельно допустимые выбросы (ПДВ). Расчет проводят по «Методике расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий» (ОНД-86). Этот документ носит универсальный характер и применим для всех видов источников. Нормирование выбросов загрязняющих веществ осуществляется на основе расчета полей для максимальных концентраций вредных веществ на территории города. Если по расчету максимальная концентрация примеси c_M в атмосфере превышает ПДК, то должны применяться технологические и организационные мероприятия для снижения выбросов до допустимого уровня [1].

Контроль содержания радионуклидов в аэрозолях является обязательным при проведении радиоэкологического мониторинга приземного слоя атмосферы. Контроль дисперсного состава аэрозолей в интервале PM_{10} и $PM_{2,5}$ стал обязательным с введением в 2010 г. гигиенического норматива ГН 2.1.6.2604-10 «Дополнение № 8 к ГН 2.1.6.1338-03 “Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест”» [2, 3].

2.3. ДИСПЕРСНЫЙ СОСТАВ АЭРОЗОЛЕЙ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Аэрозоли приземного слоя атмосферного воздуха

Аэрозоли воздуха характеризуются физическими и химическими свойствами частиц, которыми они сложены. Дисперсный состав аэрозолей воздуха определяет условия распространения пыли в воздушной среде. Крупнодисперсная пыль оседает на небольших расстояниях от источников загрязнения, мелкодисперсная может переноситься потоками воздуха на значительные расстояния,

распространяясь далеко от источников выброса, и оседает значительно медленнее, а особо мелкодисперсная практически не осаждается. Таким образом, рассеивание пылевых частиц в воздухе в значительной мере определяется дисперсным составом пыли.

Мелкодисперсные частицы аэродинамическим диаметром менее 10 мкм (PM_{10}) и 2,5 мкм ($PM_{2,5}$) по праву считаются одним из опасных видов загрязнения атмосферного воздуха, требующих систематического контроля. На таких частицах сорбируются многочисленные токсические вещества, биологическое действие которых во многом определяется их растворимостью. Растворимые токсиканты, сорбируемые на частицах, легко растворяются в биологических жидкостях (слизь, лимфа, кровь) и быстро распространяются по организму. Нерастворимые токсиканты надолго остаются в органах дыхания и оказывают в основном локальное воздействие.

Источники образования мелкодисперсных аэрозолей

Мелкодисперсные частицы имеют как природное (лесные пожары, извержение вулканов, эрозия почв, морские брызги и т.п.), так и техногенное происхождение (сжигание топлива, производство строительных материалов, использование пестицидов и др.). Высокая турбулентность воздушных потоков, обусловленная движением транспорта на автомагистралях, способствует вторичному загрязнению воздуха мелкодисперсными частицами, которые образуются в результате истирания дорожных покрытий, автомобильных шин, тормозных колодок, а также выбросов выхлопных систем. Химический состав и количество пыли во многом зависят от материалов дорожного покрытия. Наибольшее количество пыли создается на грунтовых и гравийных дорогах. Дороги с гравийным покрытием образуют пыль, состоящую в основном из диоксида кремния. На дорогах с асфальтобетонным покрытием в состав пыли дополнительно входят продукты износа вяжущих битумсодержащих материалов, частицы материалов от линий разметки дороги. При сгорании дизельного топлива в воздух попадают частицы сажи, представляющие в основе своей чистый углерод, на поверхности которого, однако, сорбируются различные углеводородные соединения (в том числе представляющие канцерогенную опасность полиароматические углеводороды), а также оксиды различных металлов и сера [7].

Характеризация дисперсного состава аэрозолей

Исследование концентраций частиц $PM_{2,5}$ представляет трудоемкую задачу. На практике часто пользуются тем обстоятельством, что, как показывают исследования, отношение концентраций $PM_{2,5}$ и PM_{10} носят довольно стабильный характер. Так, ВОЗ рекомендует принимать это отношение для воздуха городской среды в пределах от 0,5 (для развивающихся стран) до 0,8 (для развитых стран). Учитывая это обстоятельство, приблизительную оценку концентраций $PM_{2,5}$ можно сделать исходя из измеренных концентраций PM_{10} [8].

Дисперсным составом пыли называется характеристика состава дисперсной фазы, определяемая по размерам или скоростям оседания частиц. Она показывает, какую долю по массе, объему, поверхности или числу составляют частицы в любом диапазоне их размеров или скоростей оседания (рис. 2.1). Дисперсный состав представлен на рис. 2.2. Степень дисперсности представляет собой качественный показатель, характеризующий «тонкость» пыли. В качестве условных показателей этого же свойства используются удельная поверхность, средний диаметр частиц, медианный диаметр и другие величины [4].

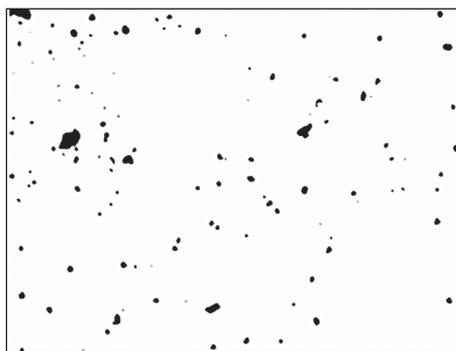


Рис. 2.1. Фотография частиц пыли

Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 19.04.2010 № 26 «Об утверждении гигиенических нормативов ГН 2.1.6.2604-10» были утверждены показатели для взвешенных частиц PM_{10} и взвешенные частицы $PM_{2,5}$.

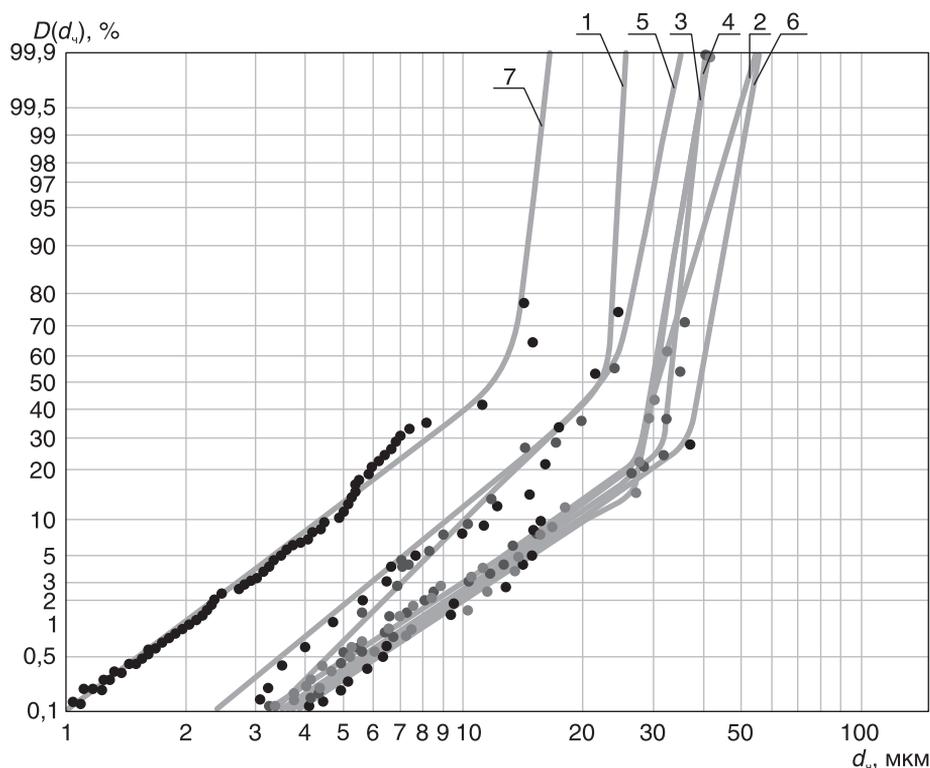


Рис. 2.2. Интегральные кривые распределения массы по диаметрам частиц в вероятностно-логарифмической координатной сетке для пыли: 1–7 — номера проб

Расчет концентрации пыли по фракционному составу $C_{D(d)}$, мг/м³:

$$C_{D(d)} = \frac{CD(d_q)}{100}, \quad (2.8)$$

где $D(d_q)$ — содержание частиц пыли (%) в определяемом дисперсионном диапазоне, установленном по размеру (диаметру) пылевидных частиц d_q ; C — массовая концентрация пыли в пробе воздуха (газа), мг/м³:

$$C = \frac{m1000}{V_0}, \quad (2.9)$$

где m — привес пыли на фильтре, определенный гравиметрическим методом как разность весов фильтра после и до отбора пробы, мг; V_0 — отобранный объем воздуха (газа) (м³), приведенный к нормальным условиям (или стандартным — для воздуха рабочей зоны) [3].

2.4. ОТБОР ПРОБ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Одним из системных объектов мониторинга атмосферного воздуха являются:

- ▶ аэрозоли приземного слоя атмосферного воздуха;
- ▶ атмосферные выпадения;
- ▶ химические загрязнители неорганического и органического происхождения;
- ▶ радиоактивное загрязнение за счет выбросов, происходящее при оседании на поверхности земли компонентов аэрозольных и газообразных выбросов.

По дисперсности аэрозоли делят на три группы:

- ▶ крупнодисперсные — частицы диаметром 10 мкм и более, быстро оседающие, поэтому находятся в воздухе непродолжительное время;
- ▶ средней дисперсности (относительно устойчивые) — частицы диаметром от 1 до 10 мкм, медленно оседающие в неподвижном воздухе, поэтому находятся во взвешенном состоянии различное время в зависимости от размера частиц и их концентрации;
- ▶ мелкодисперсные (устойчивые) — частицы диаметром менее 1 мкм, которые движутся, подобно молекулам воздуха, то есть подчиняются законам броуновского движения. При столкновении между собой мелкодисперсные аэрозоли укрупняются и оседают, как и аэрозоли средней дисперсности. Коагуляция мелкодисперсных аэрозолей происходит тем быстрее, чем меньше размеры частиц и чем больше их концентрация.

Выявлено, что основной вклад в содержание в атмосферных аэрозолях мелких взвешенных частиц размером менее 10 мкм (PM₁₀) вносили частицы пыли, которые оказывают влияние на состояние здоровья населения.

В зависимости от дисперсности аэрозоли приземного слоя атмосферного воздуха ведут себя по-разному. Основная часть аэрозолей выпадает на поверхность земли, формируя атмосферные выпадения, распределение которых зависит от многих условий, в том числе и от гидрометеорологических.

Радиоактивное загрязнение происходит за счет выбросов при оседании на поверхности земли компонентов аэрозольных и газообразных выбросов.

Химические загрязнители неорганического и органического происхождения могут поступать в приземный слой атмосферного воздуха за счет выбросов промышленных предприятий, транспорта и других источников, могут концентрироваться на поверхности аэрозольных частиц или представлять опасность сами при содержании их в воздухе выше допустимых значений.

Вне зависимости от всех этих условий поступления загрязнителей в приземном слое атмосферного воздуха формируется техногенная составляющая, характеризующая степень загрязнения воздуха, которую необходимо контролировать. Для этого существуют различные методы отбора проб, описанные ниже.

Методы отбора проб аэрозолей из приземного слоя атмосферного воздуха

В основе методов количественного определения аэрозолей в воздухе лежит *косвенный способ*, когда предварительно извлекают частицы из газовой среды с последующим их исследованием, или *прямой метод* изучения радиоактивности радионуклида или химических загрязнителей в определенном объеме газовой среды. Методы, при которых твердая или жидкая фаза отделяется от газовой среды, чаще всего основаны на седиментации, фильтрации, инерционном и электростатическом осаждении. Прямой метод предполагает использование проточных ионизационных камер, счетчиков и/или камер, в которые отбирают для исследования определенный объем воздуха.

Седиментационные методы определения содержания в воздухе аэрозолей можно условно разделить на две группы.

- ▶ Методы первой группы позволяют оценить содержание аэрозолей в ограниченном объеме. В таком случае имеется возможность количественного определения аэрозолей в единице объема воздуха или газовой среды, в другом — седиментация происходит из неограниченного объема, поэтому результаты исследования выражаются в числе или массе частиц, осевших на единице площади за определенное время. Седиментационные методы позволяют определить частицы размером от 1 до 30 мкм.
- ▶ Методы второй группы контролируют уровень техногенных выпадений из приземного слоя атмосферного воздуха.

При контроле содержания радионуклидов и химических загрязнителей в воздухе широкое применение нашли аспирационные методы отбора проб или фильтрующиеся материалы [3–6].

Характеристика фильтрующихся материалов. В качестве материалов, используемых для накопления радиоактивных аэрозолей, применяют фильтры различного типа, поглотители, сорбенты и др. Наиболее широко распространены волокнистые фильтры типа аналитических фильтров аэрозолей (АФА), в которых используют фильтрующий материал фильтра Петрянова, а также мембранные фильтры, электрофильтры, импакторы и т.д.

Волокнистые фильтры представляют собой равномерный слой ультратонких волокон из различных полимеров. В зависимости от цели исследования

можно использовать специальные марки фильтрующего материала, приведенные в табл. 2.2.

Таблица 2.2. Характеристика волокнистых фильтров типа аналитических фильтров аэрозолей [2–5]

Фильтр	Исследования	Материал волокон	Рабочая поверхность, см ²	Максимально допустимая нагрузка, л/мин	Масса единицы поверхности фильтра, мг/см ²
АФА-БА	Бактериологические	Ацетил-целлюлоза	1, 3, 10, 20, 40, 100, 130	7, 21, 70, 140, 280, 700, 1120	3,0±0,5
АФА-ВП	Весовые	Перхлорвинил	1, 3, 10, 20, 40, 100, 160	7, 21, 70, 140, 280, 700, 1120	2,5±0,7
АФА-ДП	Дисперсионные	Перхлорвинил	1, 3, 10, 20	3, 9, 30, 60	2,5±0,5
АФА-РПГ	Радиографические	Перхлорвинил	1, 3, 10, 20	3, 9, 30, 60	0,3±0,1
АФА-РМА	Радиометрические	Ацетил-целлюлоза	1, 3, 10, 20, 40, 100, 150, 160	20, 60, 200, 400, 800, 2000, 3000, 3200	3,0±0,5
АФА-РМП	Радиометрические	Перхлорвинил	1, 3, 10, 20, 40, 100, 150, 160	20, 60, 200, 400, 800, 2000, 3000, 3200	3,5±0,1
АФА-РСП	Радиоспектрометрические	Перхлорвинил	1, 3, 10, 20, 40, 100, 150, 160	20, 60, 200, 400, 800, 2000, 3000, 3200	3,5±0,5
АФА-Х	Химические	Ацетил-целлюлоза	1, 3, 10, 20, 40, 100, 160	7, 21, 70, 140, 280, 700, 1120	3,0±0,5
АФА-ХМ	Химические	Метил-метакрилат	1, 3, 10, 20, 40, 100, 160	7, 21, 70, 140, 280, 700, 1120	3,0±0,7
АФА-ХП	Химические	Перхлорвинил	1, 3, 10, 20, 40, 160	7, 21, 70, 140, 280, 700, 1120	2,5±0,7

В соответствии с назначением фильтры имеют специальную маркировку. Вначале ставятся буквы АФА, затем одна, две или три буквы, которые обозначают условное сокращение вида анализа аэрозолей и материал. Например, АФА-РМП — радиометрический из перхлорвинила, АФА-РМА — радиометрический из ацетилцеллюлозы.

Кроме того, в отдельных случаях после условного буквенного сокращения ставят цифры, которые обозначают площадь фильтра в квадратных сантиметрах, например, АФА-Х-18, АФА-РМП-20 и т.д.

Основные свойства волокнистых фильтров АФА. Аналитические фильтры аэрозолей удовлетворяют практически всем требованиям, которые предъявляет санитарно-дозиметрическая практика к анализу аэродисперсных систем.

К таким требованиям относятся:

- ▶ высокая эффективность улавливания аэрозолей любой дисперсности;
- ▶ обеспечение значительной пропускной способности;
- ▶ малое сопротивление потоку воздуха;
- ▶ необходимая механическая прочность;
- ▶ удобные в эксплуатации габариты и формы.

При определении концентрации радиоактивных аэрозолей волокнистыми фильтрами большое значение имеют такие показатели, как толщина ($\text{мг}/\text{см}^2$), аэродинамическое сопротивление (мм вод.ст.), распределение активности по толщине и коэффициент проскока, стойкость к химическим и температурным воздействиям, отношение к влаге. В табл. 2.3 приведены основные параметры фильтров типа АФА, применяемых в нашей стране.

Таблица 2.3. Параметры некоторых волокнистых фильтров типа аналитических фильтров аэрозолей [6]

Тип фильтра	Масса, $\text{мг}/\text{см}^2$	Толщина, мм	Сопротивление ($v = 1 \text{ см}/\text{с}$), мм вод.ст.	Термостойкость, °С	Стойкость к воздействию химических веществ	Отношение к влаге
АФА-РПГ	$0,3 \pm 0,1$	0,5	3,06–6,0	До +60	Стойки к кислотам и щелочам, растворимы в хлорированных углеводородах и кетонах	Гидрофобен
АФА-РМА	$3,0 \pm 0,5$	0,5	3,06–6,0	До +150	Неустойчивы	Гидрофилен
АФА-РМП	$3,5 \pm 1,0$	0,5	3,06–6,0	До +60	Стойки к кислотам и щелочам, растворимы в хлорированных углеводородах и кетонах	Гидрофобен
АФА-ХМ	$3,5 \pm 0,5$	0,5	—	До +45	Стойки к кислотам и щелочам, растворимы в хлорированных углеводородах и кетонах	Гидрофобен
АФА-ХП	$2,5 \pm 0,7$	0,5	—	До +45	Стойки к кислотам и щелочам, растворимы в хлорированных углеводородах и кетонах	Гидрофобен

Как видно из данных таблицы, фильтры типа АФА имеют различную термостойкость, устойчивость к воздействию химических веществ и влажности, что обусловлено материалами, из которых они изготовлены (ацетицеллюлоза, перхлорвинил, метилметакрилат).

При исследовании концентрации радиоактивных веществ в воздухе фильтрами АФА следует обращать внимание на такой важный показатель, как коэффициент проскока аэрозолей, который зависит от размера частиц, скорости прокачки и типа фильтра.

Наибольший проскок аэрозолей наблюдается при размере частиц 0,1–0,2 мкм, которые называют наиболее проникающими. Следует отметить, что размеры наиболее проникающих частиц с увеличением скорости фильтрации сдвигаются в сторону уменьшения.

В табл. 2.4 представлены данные об эффективности улавливания фильтров в зависимости от скорости фильтрации.

Таблица 2.4. Эффективность улавливания аэрозолей для некоторых фильтров типа аналитических фильтров аэрозолей (%) [5–8]

Тип фильтра	Скорость фильтрации, см/с				
	1	10	50	100	200
АФА-РСП	98,0–99,9	95	90	85–90	80–95
АФА-РМП	99,0–99,9	98	96	94	90–93
Радиус наиболее проникающих частиц, мкм	0,15–0,18	0,12	0,10	0,08	0,06

В практических условиях отбора проб эффективность улавливания выше значений, приведенных в таблице, так как аэрозоли дисперсны, и поэтому наиболее проникающие частицы составляют лишь часть широкого спектра размеров частиц.

При обработке проб в производственных условиях, как правило, коэффициент проскока аэрозолей при фильтрации со скоростью 10–20 л/мин принимают равным 5–10%.

Для улавливания аэрозолей и определения содержания радиоактивности йода и ртути в газовых средах в последнее время широко используют сорбционно-фильтрующие ленты типа СФЛ и аналитические фильтры типа аналитического фильтра аэрозольно-сорбционного (АФАС).

В соответствии с назначением их маркируют следующим образом: лента СФЛ-24–50-И и фильтры АФАС-И — для определения йода и лента СФЛ-Р-50 и фильтры АФАС-Р — для определения ртути. Цифры обозначают ширину ленты. Сорбционно-фильтрующие ленты и фильтры разработаны на основе фильтрующего материала и мелкоизмельченного сорбента (уголь СУ-А с добавкой соли нитрата серебра — для улавливания газообразного йода и уголь СУ-А с добавкой йода — для улавливания паров ртути).

Благодаря тонковолокнистой структуре фильтрующего материала и наличию мелкоизмельченных частичек сорбента, свободно расположенных между волокнами, лента и фильтры обеспечивают одновременное эффективное улавливание аэрозолей и высокую кинетику сорбции газообразных продуктов при сравнительно невысоком аэродинамическом сопротивлении проходящему через них потоку газа.

СФЛ изготавливают в виде полосы материала шириной 2 и 50 мм и длиной 20 м. АФАС выпускаются в виде кружков, наклеенных на опорные бумажные кольца и вложенных между защитными кольцами, рабочая поверхность — 3 и 10 см². Фильтрующие и сорбционные характеристики лент и фильтров следующие:

- ▶ аэродинамическое сопротивление — 2,5–8 мм вод.ст. при скорости потока 1 см³/(с × см²). Сопротивление линейно возрастает при увеличении скорости;
- ▶ эффективность улавливания аэрозолей по стандартному масляному туману с радиусом частиц 0,17 мкм при скорости 10 см³/(с × см²) составляет 99%. Эффективность улавливания молекулярного радиоактивного ¹³¹I в сухой газовой среде в течение 2 ч при скорости потока до 30 см³/(с × см²) и начальной концентрации 10⁻⁷–10⁻⁸ Ки/л равна 99%.

Во влажной газовой среде эффективность улавливания лент и фильтров снижается до 90%.

Ленты СФЛ-Р и фильтры АФАС-Р имеют следующие характеристики. Область применения — определение содержания ртути в газовых средах при температуре от -15 до $+40$ °С и относительной влажности до 98%. Эффективность ленты — не менее 99% в течение 240 ч при начальной концентрации паров ртути $0,5$ мг/м³ и скорости потока до 30 см³/(с × см²).

Радиоактивность отбираемых проб измеряют непосредственно с поверхности лент и фильтров радиометрическими или спектрометрическими установками.

Мембранные фильтры изготавливают на основе динитроцеллюлозы, объем пор составляет 70–80% объема всего фильтра.

Выпускают мембранные фильтры толщиной 0,1 мм, средний размер этих фильтров составляет 0,3; 0,5; 0,7; 0,9; 1,2; 3–5 мкм. Перепад давления для указанных шести фильтров варьирует соответственно 2, 5, 5–10; 10–20, 20–40, 120–150 мм вод.ст.

Преимущества мембранных фильтров:

- ▶ возможность просветления и оценки дисперсности частиц;
- ▶ малая масса;
- ▶ негигроскопичность;
- ▶ прочность и высокая эффективность улавливания аэрозолей.

Мембранные фильтры удобны при отборе проб аэрозолей для электронно-микроскопических исследований. Недостаток их — большое сопротивление при фильтрации воздуха и, следовательно, ограниченные возможности по отбору значительных объемов.

Импакторы разной конструкции служат для оценки концентрации радиоактивных аэрозолей и их аэродинамических диаметров, чего нельзя достигнуть при использовании фильтров. Метод основан на эффекте инерционного осаждения аэрозолей на различных каскадах импактора. Эффективность инерционного осаждения пропорциональна скорости движения частиц и квадрату их диаметра. Недостаток — зависимость коэффициента осаждения от влажности и температуры воздушной среды. При отборе аэрозольной пробы импакторами происходит ее разложение на отдельные фракции в зависимости от размера частиц. Далее путем автордиографии или измерения скорости счета отдельных осадительных мишеней находят распределение числа радиоактивных частиц и их активности по отдельным фракциям. Это дает возможность анализировать дисперсный состав непосредственно в воздушном потоке, без предварительного осаждения частиц из газообразной среды [9].

К недостаткам каскадных импакторов следует отнести малую объемную скорость отборов проб, поэтому их используют для измерения лишь достаточно высоких концентраций радиоактивных аэрозолей.

При эксплуатации импактора, состоящего из шести каскадов, выполненных из нержавеющей стали, после шестого каскада применяют фильтр, на котором осаждаются частицы, прошедшие через все его ступени; за фильтром помещается расходная диафрагма, служащая для измерения скорости прокачки воздуха через импактор. Импактор соединяется с форвакуумным

насосом РВН-20 вакуумной резиновой трубкой. Скорость прокачки измеряют объемным дифференциальным манометром, подключенным к расходной диафрагме. В каждом каскаде имеются сопло, через которое поступают аэрозоли, и плоская коллекторная пластинка, на которой осаждаются аэрозольные частицы. Диаметр у каждого последующего сопла меньше, чем предыдущего, то есть скорость прохождения аэрозоля ступенчато возрастает. Тяжелые частицы улавливаются первыми каскадами, а более легкие — последующими. Для увеличения эффективности прилипания аэрозольных частиц на коллекторные пластинки наклеивают прозрачную тереленовую пленку, смазанную вазелиновым маслом.

Данные, характеризующие основные показатели при работе импактора, приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5. Основные показатели шестикаскадного импактора

Сопло		Расстояние между соплами и коллекторами пластинки, см	Линейная скорость воздушной струи, см/с
номер	диаметр, см		
1	1,36	0,8	494
2	0,86	0,6	1090
3	0,54	0,5	2760
4	0,34	0,43	6940
5	0,22	0,38	17 200
6	0,14	0,35	40 600

Электрофильтры. Механизм осаждения аэрозолей в электрофильтрах состоит в том, что частицы в поле коронного разряда получают отрицательный заряд и оседают на мишени с положительным зарядом. Достоинство электрофильтров — незначительное динамическое сопротивление, соответственно, большая объемная скорость отбора проб.

Недостаток — непостоянство коэффициента проскока, который зависит от физико-химических свойств аэрозоля, влажности и температуры воздуха.

На основании материалов, приведенных в данном разделе, можно сделать вывод, что в наибольшей степени удовлетворяют требованиям радиационного контроля по содержанию аэрозолей в воздухе волокнистые фильтры типа АФА. Как отмечалось выше, эти фильтры используют в основном для отбора проб аэрозолей из воздуха, а для определения концентрации радиоактивных газов — поглотители различного типа (древесный и активированный уголь + посеребренная медь, растворы щелочей и т.д.), а также для отбора проб воздуха специальные камеры, которые являются составной частью стационарных и переносных радиометров.

Отбор проб воздуха аспирационным методом. Выше были рассмотрены общие принципы отбора проб воздуха, без характеристики особенностей оценки содержания радионуклидов в воздухе, которые заключаются в объеме отбираемого воздуха в зависимости от содержания загрязнителей. При мониторинге радиоактивных аэрозолей в атмосферном воздухе с низкой удельной актив-

ностью техногенных радионуклидов применяют мощные аспирационные установки производительностью до нескольких сотен кубических метров в час.

Отбор проб радиоактивных аэрозолей из окружающей среды

Отбор проб аэрозолей из приземного слоя атмосферного воздуха осуществляют с помощью воздухофильтрующего устройства. Существует большое количество подобных устройств — как портативных, так и стационарных. Эти устройства различаются объемом прокачиваемого воздуха и используемыми фильтрами.

Одной из самых простых и распространенных портативных воздухофильтрующих установок является пробоотборное устройство ПУ-5. На рис. 2.3 приведена фотография пробоотборного устройства ПУ-5. Данное устройство предназначено для отбора проб воздуха и других газов с целью определения концентрации в них газоаэрозольных примесей. Отбор проб осуществляется путем прокачки воздушной или иной смеси через систему фильтров и поглотителей, которые в дальнейшем подвергаются лабораторному анализу. Рабочий диапазон объемного расхода устройство ПУ-5 может быть настроен в пределах от 20 до 100 л/мин. Основным фильтром, используемым для отбора проб радиоактивных аэрозолей из окружающей среды, является АФА-РСП-20. Площадь данного фильтра составляет 20 см².

Прибор может работать как от сети, так и от встроенного автономного источника питания, позволяющего отбирать пробы в труднодоступных местах, не имеющих сетевого электропитания, а также в мобильных лабораториях.

Стационарные воздухофильтрующие установки позволяют производить фильтрацию большего объема воздуха за счет своих больших размеров и большего времени безостановочной работы. Существует множество высокопроизводительных установок. Приведем описание одной из самых широко распространенных установок.

На рис. 2.4 приведена схема воздухофильтрующей установки УВФ-1 без фильтрующего материала.

На рис. 2.5 показана фотография воздухофильтрующей установки УВФ-1 в собранном виде с фильтрующим материалом, находящейся в специальном защитном павильоне. Павильон предназначен для защиты оборудования от осадков и неблагоприятных условий окружающей среды.

Воздухофильтрующая установка УВФ-1 предназначена для отбора проб атмосферных аэрозолей на фильтры, автоматического измерения объема и объемного расхода прокачиваемого воздуха.



Рис. 2.3. Пробоотборное устройство ПУ-5

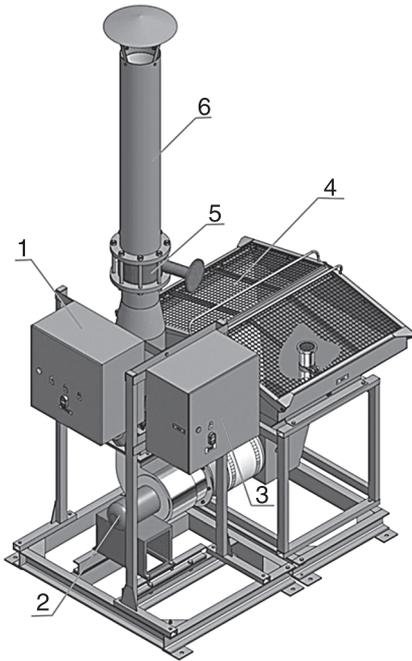


Рис. 2.4. Воздухофильтрующая установка УВФ-1: 1 — щиток управления электрическим двигателем; 2 — электрический двигатель; 3 — щиток управления расходомером; 4 — воздухозаборный раструб и фильтродержатель; 5 — вихревой расходомер; 6 — выпускной коллектор

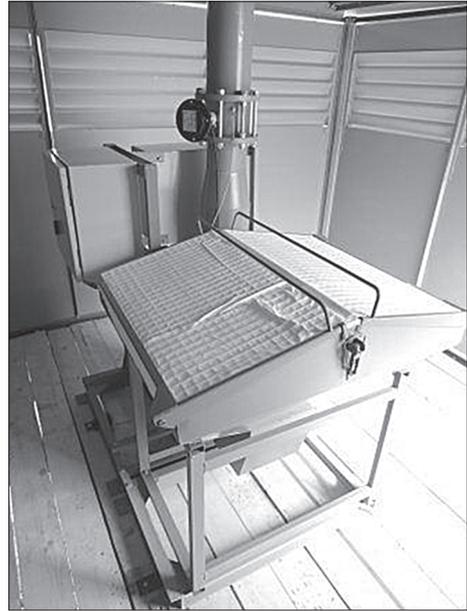


Рис. 2.5. Воздухофильтрующая установка УВФ-1 в собранном виде

В установке УВФ для отбора проб аэрозолей одновременно возможно использовать два типа фильтров: один фильтр Петрянова марки ФПП-15-1,5 для улавливания аэрозолей с размерами 1500×650 мм, а другой — из сорбционно-фильтрующего материала СФМ-2И-ПС для улавливания молекулярной составляющей радионуклидов, в частности радионуклидов ^{131}I . Фильтр Петрянова накладывают поверх сорбционно-фильтрующего материала СФМ-2И-ПС. УВФ обеспечивает отображение по выбору оператора названия, размерности и значения измеряемого параметра на жидкокристаллическом дисплее. Можно задать для отображения такие параметры, как объем прокаченного атмосферного воздуха через фильтр в м^3 или объемный расход воздуха в $\text{м}^3/\text{ч}$. Количество прошедшего через фильтры воздуха регистрируется метрологически аттестованным расходомером с электронной памятью, что позволяет сохранять накопленную информацию о количестве прокаченного через фильтры воздуха при случайном (аварийном) отключении электропитания. Фильтры могут экспонироваться в течение недели. Диапазон измерения объемного расхода воздуха может быть настроен в пределах от 300 до $2500 \text{ м}^3/\text{ч}$.

При установке фильтра на опорную сетку фильтродержателя необходимо следить за герметичностью прилегания краев фильтра к раме фильтродержателя, чтобы не было протечки воздуха мимо фильтра. Фильтр накладывается