

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
ФИЛИАЛ «НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР САНИТАРНО-
ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ И МОНИТОРИНГА»
РЕСПУБЛИКАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ПРЕДПРИЯТИЯ НА ПРАВЕ ХОЗЯЙСТВЕННОГО ВЕДЕНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ» МИНИСТЕРСТВА
ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Молдаязова Л.Т.

**МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ ХИМИЧЕСКИХ
ВЕЩЕСТВ В ПОМЕЩЕНИЯХ ЗДАНИЙ ШКОЛ И ДОШКОЛЬНЫХ
ОРГАНИЗАЦИЙ**

(Методические рекомендации)

Алматы, 2023

УДК: 628.83

ББК: 38.762

М54

Рецензенты:

Мамырбаев А.А. – д.м.н., профессор кафедры гигиенических дисциплин с профессиональными болезнями НАО ЗКМУ им. М.Оспанова

Амрин М.К. – к.м.н., доцент, руководитель управления международного сотрудничества, менеджмента образовательных и научных программ Филиала «НПЦСЭЭМ» РГП на ПХВ «НЦОЗ» МЗ РК

Разработчик: Молдаязова Л.Т. – к.м.н., врач высшей категории, заведующая референс-лаборатории по контролю химических веществ и остаточных количеств пестицидов в объектах окружающей среды филиала «НПЦСЭЭиМ» РГП на ПХВ «НЦОЗ» МЗ РК

Методы определения некоторых химических веществ в помещениях зданий школ и дошкольных организаций: Методические рекомендации / Молдаязова Л.Т. // Алматы: Филиал «Научно-практический центр санитарно-эпидемиологической экспертизы и мониторинга» Республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения «Национальный центр общественного здравоохранения»

ISBN 978-601-305-561-9

В методических рекомендациях представлены современные принципы и требования к методам отбора проб и определения приоритетных химических загрязнителей воздуха в помещениях зданий школ и дошкольных организаций. Используются протоколы, рекомендованные Международной организацией по стандартизации (ISO), адаптированных к ним национальных стандартов и взятые из материалов, опубликованных в рецензируемых журналах.

Методические рекомендации предназначены для специалистов санитарно-гигиенической лаборатории. Рекомендации, также могут быть использованы преподавателями, студентами, магистрантами, докторантами санитарно-гигиенических факультетов медицинских ВУЗов, и слушателями курсов повышения квалификации (по общей гигиене).

Утверждено и разрешено к изданию типографским способом РГП на ПХВ «Национальный научный центр развития здравоохранения имени Салидат Каирбековой» Министерства здравоохранения Республики Казахстан (протокол заседания Департамента развития науки и образования РГП на ПХВ ННЦРЗ им. Салидат Каирбековой) № 420 от «27» декабря 2023 года.

© Молдаязова Л.Т., 2023

Содержание

Список сокращений и условных обозначений.....	4
Введение.....	6
1. Основные принципы выбора методов для определения загрязнителей воздуха помещений.....	8
2. Вопросы стратегии отбора проб	9
3. Процедуры обеспечения и контроля качества (ОК/КК)	11
3.1 Дублированные и холостые пробы	11
3.2 Стабильность хранения и обращение с пробами	11
3.3 Скорость поглощения	11
3.4 Обратная диффузия	12
3.5 Идентификация соединений	12
3.6 Линейность	12
3.7 Прецизионность	12
3.8 Точность	13
3.9 Предел обнаружения (ПО) и предел количественного определения(ПКО)	13
4. Методы отбора проб и анализа приоритетных химических загрязнителей в воздухе внутри помещения для оценки риска комбинированного воздействия	14
4.1 Кислородсодержащие летучие органические соединения (ЛОС) – альдегиды.....	14
4.2 Летучие органические соединения (ЛОС).....	15
4.3 Полулетучие органические соединения (ПЛОС)	17
4.4 Неорганические соединения	19
5. Методы отбора проб и анализа других загрязнителей воздуха внутри помещений, вызывающих беспокойство	20
5.1 Твердые частицы.....	20
5.2 Неорганические соединения	21
5.3 Полулетучие органические соединения (ПЛОС).....	23
Заключение.....	26
Список использованных источников.....	27
Приложение 1. Список приоритетных химических веществ, включенных в инструмент для скрининговой оценки рисков для комбинированного воздействия	33
Приложение 2 - Другие загрязнители воздуха внутри помещений, вызывающие беспокойство	34
Приложение 3 - Список рекомендуемых методов	35
Приложение 4 – Методы отбора проб и проведения анализа загрязнителей воздуха внутри помещений.....	38

Список сокращений и условных обозначений

БДЭ-28	-2,4,4'-трибромдифениловый эфир
БДЭ-47	-2,2',4,4' -тетрабромдифениловый эфир
БДЭ-99	-2,2',4,4',5 -пентабромдифениловый эфир
БДЭ-100	-2,2',4,4',6 -пентабромдифениловый эфир
БДЭ-153	-2,2',4,4',5,5'-гексабромдифениловый эфир
БДЭ-183	-2,2',3,4,4',5',6-гептабромдифениловый эфир
БДЭ-209	-2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'-декабромдифениловый эфир
БОД	- бромированные огнестойкие добавки
ВЭЖХ	- высокоэффективная жидкостная хроматография
ГХ	- газовая хроматография
ГХ-МС	- газовая хроматография - масс-спектрометрия
ГХ-МС/МС	- газовая хроматография - тандемная масс-спектрометрия
ДБЭ-ДБЦГ	- 1,2-дибром-4-(1,2-дибромэтил)циклогексан
ДИБФ	- диизобутилфталат
ДНБФ	- ди-н-бутилфталат
ДНФГ	- 2,4-динитрофенилгидразин
ДР	- десорбция растворителем
ДЦХП	- длинноцепные хлорированные парафины
ДЭФ	- диэтилфталат
ЖХ	- жидкостная хроматография
ИЮПАК	- Международный союз теоретической и прикладной химии
КЦХП	- короткоцепные хлорированные парафины
ЛОС	- летучие органические соединения
МБТГ	- 3-метил-2-бензотиазолинон гидразон
МПО	- малообъемный пробоотборник
МС	- масс-спектрометрия
МСВР	- масс-спектрометрия высокого разрешения
МСНР	- масс-спектрометрия низкого разрешения
ОИЭЗ	- отрицательная ионизация электронного захвата
ОК/КК	- обеспечение и контроль качества
ПАУ	- полициклический ароматический углеводород
ПБДЭ	- полибромированный дифенилэфир
ПИД	- пламенно-ионизационный детектор
ПКО	- предел количественного определения
ПЛОС	- полулетучие органические соединения
ПО	- предел обнаружения
ППО	- пассивный пробоотборник
ППУ	- пенополиуретан

ПТФЭ - политетрафторэтилен
ПХБ - полихлорированный бифенил
ПХДД/ПХДФ - полихлорированный дибензодиоксин/дибензофуран
СВФ - стекловолоконный фильтр
СРМ - сертифицированный референтный материал
СЦХП - среднецепные хлорированные парафины
ТБФ - трибутилфосфат
ТБЭФ - трис(2-бутоксипропил)фосфат
ТД - термическая десорбция
ТХПФ - трис(1-хлорпропан-2-ил)фосфат
ТХЭФ - трис(2-хлорэтил)фосфат
УФ-В - ультрафиолетовая и видимая область спектра
ФКВ - фильтр из кварцевого волокна
ФОСА - фосфорорганические антипирены
ХП - хлорированный парафин
АНТН - тонаlid
СО - оксид углерода
СО₂ - диоксид углерода
ЕН - европейский стандарт
ЕРА - Управление по охране окружающей среды США
ННСВ - галаксиolid
HVAC - система отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха
ISO - Международная организация по стандартизации
LOAEL - наименьшая доза, вызывающая нежелательные эффекты
MRM - мониторинг множественных реакций
NO₂ - диоксид азота
NOAEL - доза, не вызывающая наблюдаемых нежелательных эффектов
O₃ - озон
OSHA - Управление по охране труда и технике безопасности
Министерства труда США
PM_{2,5} - твердые частицы с аэродинамическим диаметром менее 2,5 мкм
PM₁₀ - твердые частицы с аэродинамическим диаметром менее 10 мкм
SINPHONIE - Загрязнение воздуха внутри помещений и здоровье:
наблюдательная сеть в Европе
SIM - селективный мониторинг ионов

Введение

Актуальность и практическая значимость разработанной методической рекомендации определяется тем, что оно способствует выбору оптимальных методов отбора проб и анализа измерения концентрации приоритетных химических веществ воздуха помещений школ и дошкольных учреждений.

Анализ отечественной и зарубежной литературы, а также материалов из официальных источников, указывают, что некоторые строительные и отделочные материалы, ковровые изделия из химических волокон, мебель вызывают загрязнение помещения формальдегидом. Материалы из поливинилхлорида выделяют в воздух помещений толуол, бутиловый спирт, циклогексан, бензол, ксилол и этилбензол. В стеклопластиках и лакокрасочных покрытиях содержатся метакриловая кислота, бутанол, фенол, стирол, формальдегид, ацетон, этиленгликоль ксилол. Ковровые покрытия выделяют в воздух стирол, сернистый ангидрид, изофенол. Древесный уголь и дрова при горении, а также природный газ вызывают образование углекислого газа (CO_2), оксида углерода, сажи, соединений азота, сернистого газа.

Кроме мебели, строительных материалов источником загрязнения воздуха в помещениях школ могут быть оборудования, моющие средства, химикаты и вещества для лабораторных работ. Также большую роль в увеличении химической нагрузки воздуха играют проведение ремонтных работ (покраска стен, полов), установка оборудования и новой мебели и т.д.

По результатам последних научных исследований доказано значительная роль качества воздуха помещений школ и дошкольных учреждений, приводящих к заболеваниям детского и подросткового населения.

Множество вредных химических веществ загрязняющих воздушную среду помещений учреждений образования содержатся в концентрациях, которые вызывают беспокойство и подвергается широкому кругу обсуждения.

Поэтому определение содержания опасных веществ воздуха внутри помещений является важным:

- для оценки риска здоровью детского населения;
- для определения суммарных концентрации загрязнителей в воздухе внутри помещений и снаружи (измерения на открытом воздухе);
- при учете временных и пространственных изменений внутри помещений;
- для разработки и обоснования мер по снижению риска.

Методы, описанные в данной публикации, были отобраны с учетом рекомендованных методов в серии стандартов ISO 16000.

В методической рекомендации используются методы отбора проб и проведения анализа 17 основных загрязнителей, которые включены в инструмент для скрининговой оценки и 40 химических веществ вызывающих беспокойство.

Методы отбора и анализа проб суммированы в приложение 4 ниже. В нее включены стандартные методы отбора проб и анализа кислородсодержащие ЛОС (альдегидов) и ЛОС с использованием пассивного или активного отбора проб, термической десорбции (ТД) или десорбции растворителем (ДР) и газовой хроматографии-масс-спектрометрии/пламенно-ионизационного детектора (ГХ-МС/ПИД). В таблице также приведены ссылки на стандартные методы измерения бензола в атмосферном воздухе, а также других ЛОС в воздухе внутри помещений и снаружи.

Для ПАУ предлагаемый метод включает процедуру отбора проб, рекомендованную в стандарте ISO 16000-12, с использованием малообъемного пробоотборника (МПО) (фильтр плюс ППУ-диск), описанного в стандарте ISO 16000-13. Это устройство также рекомендовано использовать для обнаружения диоксиноподобных ПХБ и ПХДД/ПХДФ в стандарте ISO 16000-12 и ФОСА – в ISO 16000-31. Этот МПО может быть использован для сбора остальных ПЛОС (мускусы, ПБДЭ и ХП).

Приведенные стандартные методы отбора и анализа проб PM_{10} и $PM_{2,5}$ с помощью МПО и гравиметрического анализа, включая метод прямого считывания, который широко используется и включен в стандарт ISO 16000-37 в качестве дополнительного метода с высоким временным разрешением.

В таблице представлены отдельные методы отбора проб и анализа неорганических соединений – NO_2 , CO и O_3 – в воздухе внутри помещений. Также включены стандартные методы, основанные на непрерывных измерениях, рекомендованные в Европейских нормативных документах (EN) для атмосферного воздуха, и методы, основанные на пассивном отборе проб.

Представленные оптимальные методы измерения концентрации приоритетных загрязнителей воздуха помещений школ и дошкольных учреждений, для оценки рисков для здоровья их комбинированного воздействия, с учетом данных отечественных и международных обследований, рекомендации Международных организаций по стандартизации (ISO, EN) и национальных стандартов.

Целью является представление оптимальных методов измерения концентрации приоритетных загрязнителей воздуха помещений школ и дошкольных учреждений, для оценки риска, комбинированного воздействия на детей, с учетом данных отечественных и международных обследований, рекомендации Международных организаций по стандартизации (ISO, EN) и национальных стандартов.

1. Основные принципы выбора методов для определения загрязнителей воздуха помещений.

Выбор методов отбора проб и анализа загрязнителей воздуха внутри помещений

При выборе методов отбора и анализа руководствовались следующими критериями:

- методы из рекомендации стандартов ISO 16000 (приоритетный вариант);
- использование современных наиболее широко применяемых методов (приложение 3);
- методы получения количественного анализа содержания в воздушной среде детских организации опасных химических веществ и прочих загрязнителей;
- методы обладающие пределом обнаружения (ПО) - концентрации химических веществ и прочих загрязнителей ниже ПДК/дозы, которая не вызывает обнаруживаемого нежелательного воздействия на здоровье (NOAEL) или наименьшей концентрации вещества (доза), оказывающей нежелательное действие (LOAEL).

Представленные методы должны быть выбраны с учетом: возможности расчета средних концентрации загрязнителей за период отбора проб воздуха; простоты процесса отбора проб; восприимчивости к изменениям климата; стоимости процедур; предполагаемого срока отбора проб (не превышение 1 месяца); вероятности использования в различных условиях и помещениях; безопасности используемого оборудования; безвредности процесса отбора для детского здоровья; возможности воспроизведения и надежности полученных результатов.

Различают пассивные (диффузионные) и активные методы отбора проб воздуха. Активный отбор бывает непрерывным (онлайн автоматическим анализатором) и периодическим (офлайн).

При периодических отборах проб (как пассивного, так и активного) загрязнители собираются на фильтр или аспирируются в сорбционную трубку для дальнейшего анализа в лаборатории.

Для отбора проб воздуха помещений предпочтение отдается пассивному методу, так как при этом методе не используются источники питания, насосы и квалифицированные специалисты. Кроме того, метод характеризуется низкой стоимостью, возможностью отбора проб в течение пяти дней учебы и одновременно в нескольких местах учреждения и работой без шума. Одним из вариантов определения концентрации формальдегида в воздухе помещений является использование метода пассивного пробоотборника (ППО) в течение одной учебной недели. Тогда как активный метод отбора проб для определения концентрации формальдегида в воздухе детских организации требует больших трудовых затрат и стоимости за счет длительного времени исследования. Однако, результаты анализа при пассивном методе трудно оценить на соответствие ПДК формальдегида - 100 мкг/м³ при краткосрочном воздействии (30 мин) (ВОЗ) [16].

В зависимости от исследуемого вредного вещества в помещении, ППО необходимо подвергнуть воздействию воздуха определенное время (до нескольких дней и недель). Например, для анализа ПЛОС пассивный отбор проб длится 3–4 недели.

За счет градиента концентрации молекулы адсорбируются на фильтр и подвергаются анализу с определением среднего уровня содержания веществ за установленное время отбора проб.

Расчет производится по формуле:

(формула 1)

$$C(\text{мкг м}^{-3}) = \frac{m(\text{мкг})}{Q (\text{мл мин}^{-1}) \times t (\text{мин})}$$

Где:

m – масса загрязнителя;

t – время отбора проб;

Q – скорость отбора проб (известная как интенсивность диффузионного поглощения), которая зависит от коэффициента диффузии целевого загрязнителя прямо пропорционального площади поперечного сечения отверстия пробоотборника и обратно пропорционального длине диффузионной зоны устройства [15].

Расчет уровня содержания опасных веществ необходимо производить после калибровки в стандартных условиях, с учетом температуры помещения, потому что интенсивность поглощения разных веществ бывает не одинаковой и зависит от температурного режима при отборе проб.

При отборе активным методом используется насос, с помощью которого происходит аспирация воздуха в сорбционную трубку или фильтр.

2. Вопросы стратегии отбора проб.

Начало отбора проб

В начале отбора проб необходимо установить тип помещения, наличие и техническое состояние системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВКВ), присутствие в помещении детей, измерить температуру и относительную влажность воздуха. При планировании времени проведения измерений нужно учесть время между завершением проветривания помещения и началом отбора, в соответствии с серией ISO 16000 [17, 18].

Различают два подхода продолжительности отбора проб:

1. круглосуточный (беспрерывный) отбор в течение учебной недели (5 дней);

2. в периоды нахождения в помещении детей, в течение 5-8 часов (в конце учебного дня необходимо дня закрывать пробоотборники и открывать их в начале следующего дня занятий) (5 дней) [14, 15].

Время отбора проб

Для выявления высоких уровней NO_2 , бензола, формальдегида рекомендовано проводить отбор проб в отопительный сезон.

В теплый сезон (когда не работают системы отопления) отбор производится для установления сезонных колебаний содержания химических веществ и других загрязнителей в воздухе помещения. В этот период отбор проб проводится с мая по июнь и с августа по сентябрь (как минимум за два месяца до и после отбора проб, произведенных в отопительный сезон).

Для сопоставимости и достоверности полученных результатов, в обоих исследованиях, ППО устанавливаются в одних и тех же местах в помещении школьных и дошкольных учреждений и на улице [15].

Критерии выбора учебных комнат.

Для исследования в каждом детском учреждении необходимо выбрать не менее трех учебных классов, в которых регулярно проводятся учебные занятия и располагаются они на разных этажах (отбор классов в случайном порядке из каждого этажа).

К дополнительным критериям относятся ориентация учебных комнат и длительность времени их использования (для исключения действия эмиссий из новых стройматериалов) [14, 15].

Месторасположение пробоотборников.

На результаты анализа проб оказывает влияние скорость движения воздуха, поэтому предпочтительным для пробоотборников является минимальная скорость потока.

Пробоотборники необходимо устанавливать в центре класса, при невозможности размещения в центре рекомендуется расположение на расстоянии 1–2 м от стенки кабинета и 1–1,5 м от пола (на уровне дыхания ученика). Пробоотборник размещает с учетом исключения контакта с учащимися [15, 17].

Определение уровня содержания загрязнителей в атмосферном воздухе дает возможность оценить вклад наружных источников в уровень загрязнения воздуха внутренней среды.

Пробоотборники устанавливаются возле здания школьного учреждения на расстоянии не менее, чем 1 м. Необходимо их защитить от действия прямых лучей солнца и осадков. При их установке также требуется регистрация расстояния от школ до автодороги и производственных источников загрязнения [15, 17].

При наличии в здании школы системы отопления, вентиляции и кондиционирования (ОВКВ), отбор проб наружного воздуха производится рядом с воздухозаборником.

Информация о деятельности человека и потенциальных источниках эмиссии.

Перед началом исследования кабинетов необходимо провести анализ и регистрацию всех факторов, которые будут оказывать влияние на качество воздушной среды учебных кабинетов (деятельность учащихся в помещении, начало и конец занятий, время перемен, время уборки кабинета, использование моющих и чистящих средств, школьная мебель, учебные материалы и оборудования, наличие ОВКВ, относительная влажность и

температура воздуха кабинета, возможные источники загрязнения наружного воздуха) [14, 15, 17].

3. Процедуры обеспечения и контроля качества (ОК/КК)

Обеспечение качества и контроль качества (ОК/КК) являются важной процедурой в деятельности лаборатории с целью обеспечения точности (близких к реальным данным) и (воспроизводимости) прецизионности полученных результатов.

При анализе образцов оценке подлежат следующие параметры – прецизионность, точность, линейность, предел обнаружения (ПО) и предел количественного определения (ПКО). Для определенных соединений в стандартах ИСО представлены детальные протоколы ОК/КК [15].

Анализ образцов рекомендуется производить в одном и том же месте, в аккредитованной лаборатории. По требованиям процедуры ОК/КК необходимо периодически проводить анализы холостых проб, с добавленными определенным количеством химических веществ и сертифицированных референтных материалов (СРМ). В существующих референтных лабораториях подготавливаются контрольные образцы. Согласно стандарта ISO -5725 должен проводиться статистический анализ полученных результатов [15].

Для получения более качественных результатов анализа, обладающих последовательностью, надежностью, и для исключения погрешности при отборе проб и проведении анализа нужно следовать ниже приведенным процедурам ОК/КК [14, 15].

3.1 Дублированные и холостые пробы

Все партии отобранных для исследования проб должны содержать холостые (не менее 1 пробы на здание) и дублированные (не менее 10% от всех проб). Пробоотборник для холостых проб, не открывая размещается в учебном кабинете каждого здания. Одна холостая проба хранится в лаборатории и также подвергается анализу вместе с партией проб. Подготовка холостых проб должна проводиться соответственно стандартов ISO и процедур утвержденных лабораторией. Анализ холостых проб производится аналогично с обычными пробами воздуха, отобранных в помещении [15].

3.2 Стабильность хранения и обращение с пробами

Отобранные пробы воздуха немедленно отправляются в лабораторию и хранятся соответственно установленных процедур. Далее образцы проб подвергаются анализу в течение определенного времени [15].

3.3 Скорость поглощения.

Каждый ППО, в зависимости от размера пробоотборника, имеет определенную скорость поглощения загрязнителя (стандарты ISO). Непременным условием является измерение температурного режима помещения, так как температура воздуха влияет на скорость поглощения. В

информации производителя ППО указывается скорость поглощения химических веществ и других загрязнителей, а также формула расчета с учетом температуры воздуха [15].

3.4 Обратная диффузия

При массе адсорбированного загрязнителя на много меньше допустимой (в емкости) максимальной концентрации возникает обратная диффузия. Время выдержки и концентрация оказывают влияние на уровень обратной диффузии. Обычно в инструкции производителя ППО предоставляется информация о времени выдержки при отборе проб, также о концентрации загрязняющих веществ.

3.5 Идентификации загрязнителей:

1. Соотношение хроматографического времени удержания соединения ко времени удержания, обозначенного во внутреннем стандарте (относительное время удержания соединения), должно соответствовать времени удержания калибровочного раствора с допуском $\pm 0,5\%$ для ГХ и $2,5\%$ для ЖХ. Если внутренний стандарт не используется, время удержания должно быть таким же с допуском 5% (ВОЗ, 2021 г) [15].

2. В ГХ-МС идентичность пика должна быть подтверждена соотношением интенсивности целевого иона или перехода количественного определения (Q) к иону-определителю или переходу подтверждения (q) (Q/q). Для этого соотношение Q/q образца нужно сравнить с соотношением Q/q калибровочного стандарта с учетом допусков, разрешенных, например, решением Европейской комиссии 2002/657/ЕС (ВОЗ, 2021 г.) [15].

3.6 Линейность

Под линейностью методики понимают способность получать результаты исследований, в определенном диапазоне, прямо пропорциональные концентрации целевого загрязнителя в анализируемой пробе. Линейность нуждается в подтверждении с помощью калибровки аналитических систем с применением не менее пяти концентраций. Проверка калибровочной кривой проводится согласно инструкции процедуры аналитической системы или не реже одного раза в день [15].

3.7 Прецизионность

Под прецизионностью понимают степень совпадения (близость) результатов серии независимых измерений, полученных в конкретных регламентированных условиях (ISO 5725- 3:1994, ГОСТ Р ЕН 13205-2010) [15, 19, 20]. С целью определения степени изменчивости полученных результатов проводят измерение одних и тех же проб.

Оценку прецизионности проводят с помощью контрольных образцов, также с использованием холостых проб или СРМ.

При проведении проверки прецизионности пробоотборника используют пять лабораторных холостых проб с добавлением конкретных аналитов. Далее они извлекаются и подвергаются анализу (серия ISO 5725) [15].

3.8 Точность, правильность

Точностью называют степень близости полученного результата измерений к истинному (действительному) значению измеряемой величины (ISO 5725-1) [20, 21, 22].

Правильностью называют степень близости среднего значения, полученного на основании большой серии результатов измерений (или результатов испытаний), к принятому опорному значению (ИСО 3534-1) [15, 21, 22].

Точность определяется аналогично прецизионности, с использованием холостых проб или СРМ. Анализ точности проводится в соответствии с ISO 5725[15].

3.9 ПО (предел обнаружения) и ПКО (предел количественного определения)

Предел обнаружения (ПО) – это минимальная концентрация вещества в пробе, выявляемая при исследовании.

Для ПО существуют различные способы определения и методики оценки.

Международный союз теоретической и прикладной химии (ИЮПАК) предложил определить ПО при помощи формулы:

$$xL = \bar{x}Vl + ksVl \quad (\text{формула 2}) [15].$$

Где:

- ◆ $\bar{x}Vl$ – среднее значение результатов холостых измерений;
- ◆ sVl – стандартное отклонение результатов холостых измерений;
- ◆ k – числовой коэффициент, выбираемый в зависимости от желаемого уровня доверия (рекомендуется значение 3) [15].

При методике визуальной оценки испытания проводят с конкретными концентрациями определяемого загрязнителя, когда при установлении минимального значения, результат можно оценить визуально.

Инструментальная оценка применяется при регистрации шума на базовой линии, Определяют соотношение уровней сигналов контрольного образца и образца с минимальной концентрацией определяемого вещества.

При помощи калибровочной кривой сигналы ПО преобразуются в количество (концентрацию).

Предел количественного определения (ПКО – это минимальная концентрация (количество) определяемого вещества в пробе, которая может быть количественно оценена валидируемой методикой.

К используемым методикам относятся:

- методика оценки ПКО по соотношению: аналитический сигнал/уровень шум (10:1);

- методика по отклонению сигнала и по калибровочному графику (угловой коэффициент) – расчет производится по формуле:

ПО или ПКО = $k \times S$ (формула 3) [15].

Где:

- ◆ k – множители 3 и 10 для ПО и ПКО соответственно;
- ◆ S – стандартное отклонение холостого образца, стандартное отклонение точки пересечения оси ординат или остаточное стандартное отклонение линейной регрессии;
- ◆ b – наклон линии регрессии (в случае, если S является безразмерным аналитическим сигналом).

В этом случае уровень холостого образца не включается [15].

4. Методы отбора проб и анализа приоритетных химических загрязнителей в воздухе внутри помещений для оценки риска комбинированного воздействия

При выборе методов для отбора проб проведения анализа веществ в воздушной среде кабинетов могут быть использованы методы, представленные в стандартах ИСО, национальных стандартах или рекомендованные в публикациях рецензируемых журналов. Также можно использовать методы, применяемые для измерения содержания вредных веществ в наружном (атмосферном) воздухе, с учетом шума и скорости отбора образцов.

В главе представлены протоколы для 17 основных химических веществ, входящих в состав инструмента для скрининговой оценки риска для детского здоровья комбинированного воздействия (приложения 1 и 4) [15].

4.1 Кислородсодержащие ЛОС – альдегиды

К кислородсодержащим ЛОС относятся карбоновые кислоты, кетоны, спирты, альдегиды. К альдегидам относят формальдегид и ацетальдегид.

Для измерения концентрации формальдегида используются несколько методов: кратковременные, долговременные и предварительные. Поэтому выбор методики зависит от поставленной цели замера и источника выделения формальдегида.

Условия и методика проведения исследований представлены в стандарте СТ РК ИСО16000-2-2010 (ISO 16000-2) [15, 23], а методика анализа в СТ РК ИСО-4-2010 (ISO 16000-4) [15, 25]. Они могут применяться для определения ацетальдегида и прочих альдегидов.

Размещение пробоотборников.

В связи с влиянием места размещения пробоотборников в кабинетах на результаты замеров они должны быть установлены в центре учебного кабинета (возможно размещение на расстоянии от стены на 1-2 м), на высоте 1-1,2 м СТ РК 16000-1-2010 (ISO 16000-1:2004). Не следует размещать пробоотборник вблизи: мебели, изготовленный из древесно-стружечной плиты; ОВКВ; на солнце.

Диффузионные пробоотборники.

За счет диффузии пары альдегида сорбируются на покрытой 2,4-динитрофенилгидразином (ДНФГ) и фосфорной кислотой фильтровальной бумаге, в результате образуются устойчивые гидразоны. (ISO 16000-4:2011). Измерение осуществляют при относительной влажности, не превышающей допустимого уровня для образовательных учреждений и скорости движения воздуха не более 0,02 м/с.

Информация о деятельности человека и потенциальных источниках эмиссии.

Перед измерением, кроме проведенного анализа деятельности в учебном классе и регистрации факторов влияющих на качество воздушной среды необходимо указать дополнительные источники загрязнения (новая приобретенная мебель, недавние ремонтные работы) (ISO 16000-4:2011) [15, 24, 25].

Хранение и обработка проб.

До проведения анализа, отобранные пробы, герметически упакованные в защитные контейнеры, должны храниться в морозильной камере, Рекомендуемые сроки проведения анализа проб до 2-х недель или в течение трех суток, если проводилась экстракция раствора ДНФГ формальдегида [15, 24, 25].

Лабораторный анализ.

Для исследования образцов воздействуют ацетонитрилом на гидразон пробоотборника, образовавшийся раствор фильтруют и подвергают анализу на высокоэффективном жидкостном хроматографе (ВЭЖХ) с ультрафиолетовым детектором (УФ) (длина волны 360 нм). Процедура анализа методом ВЭЖХ представлена в стандартах ISO 16000- 4 и 16000-3. Метод можно использовать и для исследования ацетальдегида. Диапазон концентраций соединений, определяемый при использовании данного метода, составляет 1 мкг/м³ - 1 мг/м³.

Отбор формальдегида и ацетальдегида можно проводить одновременно и исследовать на ВЭЖХ с УФ - детектором.

Высокое содержание в воздухе NO₂ могут создавать помехи при использовании данного метода из-за возникновения реакции NO₂ и ДНФГ, время удержания которой аналогична для реакции формальдегида и ДНФГ [15].

4.2 Летучие органические соединения (ЛОС)

(ЛОС) – это химические соединения, содержащий углерод, которые при комнатной температуре, переходят из твёрдого из жидкого состояния в газообразное.

Список опасных химикатов (ЛОС) и методы отбора и анализа представлены в приложении 1 и таблице 4 (ISO 16000- 5:2007) [15, 27, 28]. Процедура анализа с помощью ТД и ГХ (на капиллярных колонках) представлена в стандарте ISO 16017-2 (метод 1). Другая процедура (метод 2)

с применением ДР и ГХ (на капиллярных колонках) изложена в стандарте EN 14662-5 [29].

Пробоотборники устанавливаются: от пола на высоте 1–1,2 м, от стены на расстоянии 1-2 м [15].

Протокол записи информации об осуществляемой деятельности в помещении и условиях во время отбора проб.

За счет изменения микроклимата, неисправности в работы ОВКВ, вида деятельности людей в помещении возможна временная эмиссия, что необходимо учесть при проведении анализа результатов. Рекомендации по регистрации информации представлены в приложении D (стандарт ISO 16000-1).

Метод 1: отбор проб и анализ ЛОС при помощи сорбционной трубки/ГХ на капиллярных колонках (ISO 16017-2)

Пары ЛОС в ППО адсорбируются за счет диффузии. Используются следующие адсорбенты: Carborack™ В/С, Carborack™ В/С, Carbograph™ TD-1, Tenax® TA/TG (в основном с сеткой размером 60-80). При невозможности купить ППО, можно изготовить в условиях лаборатории (согласно стандарту ISO 16017-2) [30]. Перед отбором проб необходимо провести калибровку трубки. Скорость отбора химиката при использовании трубки, с определенным видом адсорбента, длиной 90 см (с внешним диаметром 6,3 мм и внутренним - 5 мм) указан в стандарте ISO 16017-2 [30]. Обязательным условием является их совместимость с устройством для ТД.

В качестве адсорбента можно применять Tenax® TA (Поли(2,6-дифенил-п-фениленоксид) (PPPO), однако требования к методу отбора некоторых химикатов (лимонена, 1,4-дихлорбензола, трихлорэтилена и α -пинена) отсутствуют в ISO 16017-2. В этом случае расчет скорости отбора возможно с использованием стандартов ISO 13528-2 [31] или EN 838 [32], т.е. Tenax®, при обеспечении определенной скорости отбора, можно применять как адсорбент для конкретных соединений [15].

Хранение и обработка проб.

После производства отбора вместо диффузионной крышки используют крышку для хранения. Для маркировки не применяют содержащие растворители красящие вещества и этикетки на клею. При невозможности проведения анализа в течение первых 8 часов пробы помещаются специальные герметичные контейнеры из металла (без покрытия) или стекла.

Лабораторный анализ.

Условием помещения трубки в устройство ТД является их совместимость. В газовый хроматограф ГХ ЛОС вводят после предварительной фиксации в холодной ловушке. Анализ проводится в ГХ с соединением масспектора, ПИД или ФИД.

(- пламенно-ионизационным детектором (ПИД)

(- фотоионизационным детектором (ФИД).

Метод 2: отбор проб и проведение анализа ЛОС при помощи сорбционной трубки/ДР/ГХ на капиллярных колонках (EN 14662-5)

десорбция растворителем

термическая десорбция

При невозможности проведения анализа ЛОС в устройстве ТД, можно использовать ДР.

Для определения бензола применяется стандарт EN 14662-5, а метод ДР из этого стандарта используется и для других конкретных ЛОС.

Диффузионные пробоотборники.

Пары соединений за счет диффузии оседают на адсорбенте. В качестве адсорбента в ППО используется активированный уголь (0,35 – 0,85 мм в размере). Производителем ППО представлены рекомендуемая скорость отбора образцов и в Приложении А (стандарт EN 14662-5:2005) [29] список определяемых ЛОС [29].

Лабораторный анализ.

Экстрагирование ЛОС проводится дисульфидом углерода (CS₂). Полученный раствор 30 минут должен перемешиваться, затем подвергаться анализу на ГХ с детектором ПИД (или ФИД). Внутренний стандарт добавляется к полученному раствору в объеме, равный введенному объему CS₂ и применяется для количественного определения. При использовании ПИД прибавляют 2-фтортолуол, а при применении МС - толуол-d₈ и бензол-d₆. Рекомендованный температурный режим в ГХ для разделения органических соединений представлен в ISO 16017-2 [30].

4.3 Полуплетучие органические соединения (ПЛОС).

Полуплетучие органические соединения - это вещества, находящиеся в составе твердых или жидких тел, которые при воздействии дополнительных факторов частично переходят газообразное состояние и остаются в воздушной среде, частично осаждаются в виде пыли [15, 33].

ППО для ПЛОС имеет свои недостатки (трудность сбора твердых частиц, калибровка референтной методикой, нестабильность скорости адсорбции).

ППО с пенополуретановым (ППУ) диском часто применяется для ПЛОС из-за его значительной удерживающей характеристики и не только для сбора загрязнителей в газообразном виде, но и в твердом состоянии.

В список приоритетных химикатов введены два ПАУ – это бензо(а)пирен и нафталин (приложение 1 и таблица 4) [15]. Бензо(а)пирен может быть в твердом состоянии (ISO 12884), а давление паров - 7,3 x 10⁻¹⁰ кПа. Нафталин находится в газообразном виде (давление паров 1,1 x 10⁻² кПа) (EN 146625, ISO 16017-2) [15, 29, 30].

Для отбора загрязнителей наружного воздуха чаще применяется пробоотборник ППУ. Однако, после проведенной калибровки, они применялись для измерения ПХБ, БОД, ПБДЭ, ПАУ и ФОС в помещении [15, 34, 35, 36]. Кроме того, калибровка необходима для выявления полициклических мускусов, фталатов и особо для бензо(а)пирена (16000-12:2008), в этом случае желательно применять активные ППО. При измерении, в зависимости от конфигурации пробоотборника (частично защищенный и

полностью защищенный), устанавливались определенные скорости отбора для конкретных загрязнителей.

Месторасположение ППО.

Описание правил отбора загрязнителей представлено в стандарте ISO 16000-1. Размещение ППО в помещении стандартное [15].

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ).

Представленный метод используется для определения содержания нафталина, бензо(а)пирена и ПАУ (приложения 1 и 2). Правила отбора ПАУ с применением МПО приводятся в стандарте ISO 16000-12 [37].

Для анализа проб ПАУ находящихся в газообразном виде представлен протокол в ISO 12884 [38, 39], для твердых частиц в ISO 16362 [40].

Для измерения уровней ПАУ, ПХБ и ПХДД/ПХДФ может использоваться один и тот же протокол, представленный в ISO 16000-13 [41]. Данный протокол применяется и для определения других ПЛОС (приложение 2) [15].

Активные пробоотборники.

Из-за создаваемого шума активные ПО применяются с использованием МПО (диапазон 1,2-2,8 м³ /ч). При одновременном замере РМ_{2,5} и РМ₁₀, используемый фильтр может применяться и для измерения ПАУ (стандарты ISO 16000-12, ISO 16000-13) [15, 37, 41].

Хранение и обработка проб.

Перед применением необходима калибровка фильтра и сорбционной ловушки (ППУ). Фильтры должны подвергаться термической обработке (несколько часов). ППУ-диски должны быть очищены толуолом, дихлорметаном или другими растворителями. После производства процедуры отбора, фильтры и ловушки обворачивают, промытый растворителем, алюминиевой фольгой. Затем помещают в герметичный контейнер и в охлажденном состоянии отправляют лабораторию. Состояние образца считается стабильным в течение месяца [15].

Лабораторный анализ.

Протокол анализа с применением ГХ-МС представлен в ISO 12884 [38]. Экстрагирование химикаты с фильтра и ППУ – диска проводится аппаратом Сокслета, методом ускоренной экстракции растворителями или другими способами. Дихлорметан можно использовать как растворитель. В полученный экстракт добавляют внутренние стандарты и до проведения анализа помещают в морозильник (температура хранения -18 °С). Протокол извлечения и информация о внутренних стандартах представлены ISO 12884 [38].

Анализ ПАУ проводят на ГХ-МС (режим SIM), а при присутствии тройного квадруполя с использованием режима MRM. Ионы для определения конкретных ПАУ(метод МС), внутренние стандарты, а также стандарты, предназначенные для контроля результативности извлечения указаны в ISO 12884 [38]. Переходы, которые контролируют в режиме MRM для каждого загрязнителя были представлены ранее [42, 43]. При исследовании применяют капиллярные колонки с 5%-ным

фенилметилсиликоном (толщина пленки 25 мкм). Длина колонки - 30-50 м, внутренний диаметр – 0,25 мм.

Эффективность отбора проб или динамическая эффективность удержания.

Для оценки эффективности ППУ удерживать загрязнителей, раствор интересных ПЛОС наносят на сорбционный картридж и фильтр (чистый). Далее пропускают воздух через них, с соблюдением условий (скорость потока, время экспозиции) соответствующий требованиям отбора проб.

Для определения динамической эффективности удержания сорбент наносят на фильтр (чистый), установленный впереди ППУ-диска. Далее воздух пропускают в соответствии с данной процедурой (ISO 16000-13) [24, 44].

4.4 Неорганические соединения.

Многие источники неорганических загрязнителей преимущественно располагаются вне помещений. Основные соединения, загрязняющие воздушную среду помещения - это O₃, NO₂, CO, из них только NO₂, включен в список для оценки риска комбинированного действия химикатов [15].

NO₂.

Процедура отбора проб NO₂ представлена в ISO 16000-15 [45].

Месторасположение пробоотборников.

Приборы для отбора проб (достаточно одного) устанавливают на расстоянии 1–1,5 м от стены, на высоте 1,5 м от пола и вдали от ОВКВ.

При расположении детского учреждения рядом с автомагистралью содержание NO₂ в воздухе помещений будет зависеть от концентрации загрязнителя в наружном воздухе. Для параллельного измерения химического соединения в наружном воздухе, для защиты от прямых лучей солнца и осадков, пробоотборники необходимо помещать в укрытия.

Диффузионные пробоотборники.

Для измерения содержания NO₂ в продаже имеются различные типы ППО. Рекомендации по выбору и процедуре использования ППО представлены в EN 13528-3 [31]. При применении ППО с триэтаноламиновым адсорбентом, при повышенной относительной влажности воздуха, необходимо соблюдать осторожность из-за гигроскопичности адсорбента [15, 46].

Хранение и обработка проб.

ППО после отбора помещаются в защитный контейнер и до проведения анализа хранятся при температурном режиме 4 °С в темном месте. Желательно проводить анализ проб в первые две недели со дня завершения отбора.

Лабораторный анализ.

В воздухе NO₂ хемосорбируются на триэтаноламиновом адсорбенте в виде нитрит-иона, который определяется на УФ-В спектрофотометре (длина волны 540 нм). Метод (модифицированный) Грисса-Зальцмана, используемая для анализа, представлен в стандартах (ISO 16000-15, ISO 6768, EN 16339) [45, 47, 48, 49, 50].

Кроме, часто используемого метода ППО с триэтаноламиновым адсорбентом, применяются и другие методы определения NO₂ (Radiello®, Ogawa, SKC) [15, 51, 52].

5. Методы отбора проб и анализа других загрязнителей воздуха внутри помещений, вызывающих беспокойство

В приложение 2 внесены наиболее часто встречающиеся загрязнители воздушной среды помещений школьных и дошкольных заведений: О₃, БОД, твердые частицы, мускусы, СО, ФОСА, ХП, фталаты. Однако они не входят в список опасных соединений для оценки риска комбинированного воздействия [15].

5.1 Твердые частицы.

Процедуры отбора и анализа проб твердых частиц в воздушной среде представлены в ISO 16000 - 34, ISO 16000 - 37 (определение концентрации PM_{2,5} и PM₁₀) [53, 54].

Для замеров твердых частиц различают два вида устройств. Первая предназначена для определения средней концентрации за время отбора, вторая – для отслеживания в реальном времени. Работа приборов устроена на использовании гравиметрического метода, как более точного. Оптические устройства, измеряющие путем рассеяния, поглощения или ослабления света частицами, дают возможность проводить замеры в реальном времени. Методы микроизмерений (использование датчика ТЕОМТМ) также обеспечивают результаты измерений, которые можно записать в реальном времени.

Для определения концентрации PM_{2,5} рекомендовано применение гравиметрического метода (ISO 16000 – 37) [54].

Дополнительные опции включают в себя методы с очень большим временным разрешением. В проекте SINPHONIE использовалась следующая методика: уровни PM_{2,5} и PM₁₀ измерялись непрерывно оптическим рассеянием света, а уровни PM_{2,5} также определялись гравиметрическим методом после фильтрации проб.

Месторасположение пробоотборников.

ППО должны устанавливаться в центре кабинета на высоте (примерно) 1,5 м от пола (ISO 16000-1 и ISO 16000-34) [17, 18, 53].

Активные ПО и гравиметрический анализ - как эталонный метод при определении PM₁₀ и PM_{2,5} рекомендован ISO 16000-37 [54], их требования также соответствуют EN 12341[55]. ISO 16000-34 [53] допускает некоторые изменения от EN 12341, которые указаны в разделе 7.1 документа [15].

Для уменьшения уровня шума можно использовать МПО или устанавливать насосы в специальных (звукоизолирующих) ящиках. Эталонным является метод сбора частиц на фильтр из ФСВ, ФКВ, ПТФЭ или ПТФЭ покрытый стекловолокном (с калибровкой до и после отбора). Перед отбором проб и после отбора фильтры необходимо взвешивать.

Кроме твердых частиц, образцы фильтра могут быть подвергнуты анализу для установления присутствия ПЛОС (ISO 16000-37 и EN 12341) [54, 55].

Хранение и обработка проб.

Перед экспозицией и после необходимо провести калибровку фильтров. До и после экспозиции фильтры должны быть откалиброваны в весовой комнате. Методы ОК/КК, калибровки, также условия хранения и транспортировки проб представлены в EN 12341:2014 [55, 56].

Устройства с высоким временным разрешением.

Преимуществом автоматических контрольно измерительных устройств перед методом гравиметрического анализа являются: длительность времени разрешения (минуты); возможность наблюдения пика уровня содержания; простота в применении; получение значительно больше информации. Поэтому в ISO 16000-37 [54] использование метода исследования этим прибором рекомендован как дополнительный для анализа воздуха в помещении.

Приборы, рекомендованные для использования представлены в стандарте ISO 16000-34 [53].

5.2 Неорганические соединения

O₃, CO, NO₂ загрязняющий наружный воздух встречаются и в воздухе внутри помещения. Кроме поступления из наружного воздуха O₃ также выделяется при работе лазерных принтеров и копировальных устройств.

O₃.

Для измерения O₃ в воздушной среде помещения еще не разработан стандарт ISO. ППО (несколько типов) и руководство по их применению имеются в продаже.

Месторасположение пробоотборников.

Метод измерения содержания NO₂ используется и для определения концентрации в воздухе помещения O₃. При этом особые рекомендации производители предлагают для проведения отбора проб.

Диффузионные пробоотборники.

Для измерения содержания O₃ разработаны несколько различных ППО. Процедура анализа зависит применяемого типа коммерческого ППО. Например, В основе ППО Ogawa [52], разработанного Koutrakris et al., лежит процесс окисления нитрита до нитрата в присутствии O₃ [57].

ППО Radiello® (Cocheo) и Passam G® (Monn & Hangartner) основаны на процессе возникновения реакции O₃ с 4,4'-дипиридилэтиленом и получения 4-пиридилальдегида. Далее 4-пиридилальдегид вступает в реакцию с 3-метил-2-бензотиазолинон гидразоном (МБТГ) и образованием азида (соответствующего).

Все ППО прошли тестирование для отбора загрязнителей воздуха помещений и наружного воздуха (стандарты EN 13528-3 и EN 14412) [31, 60].

Хранение и обработка проб.

ППО после отбора подлежат хранению в темном месте. Предпочтительно проведение анализа в течение семи дней после завершения экспозиции. Процедуры анализа представлены в рекомендациях производителей.

Лабораторный анализ.

В случае адсорбирования ОЗ в виде нитрата-иона, анализ проводится методом ионной хроматографии, после экстрагирования иона Milli-Q®-водой в УФ-ванне. Аналогичная процедура анализа представлена в работе Ogawa [52] и Методе ID-214 (OSHA) [61].

При применении 4,4'-дипиридилэтилена, экстрагирование проб проводят в свежем растворе МБТГ, затем фильтруют. Поглощение полученного азида измеряют в спектрофотометре УФ-В. Длина волны составляет 430 нм. При использовании этого метода образовавшиеся 4-пиридилальдегид является специфичным для ОЗ, так как другие загрязнители не будут препятствовать его определению (стандарты EN 13528-3 и EN 14412) [15, 31, 60].

СО.

Пока еще не разработан Стандарт ISO для измерения концентрации СО в воздухе внутренней среды. В предыдущих исследованиях измерения воздуха помещения и наружного воздуха проводились с помощью электрохимического датчика. В качестве альтернативы можно применять портативные, автоматические и относительно дешевые датчики для непрерывного измерения концентрации СО. Например, в проекте SINPHONIE были реализованы непрерывные измерения уровня СО с помощью легкодоступного (по цене) записывающего устройства.

Несмотря на то, что ППО для определения концентрации СО разработаны, они до сих пор широко не используются. Эталонный метод измерений в открытом воздухе основан на принципе непрерывного недисперсионного инфракрасного спектроскопического измерения (EN 14626:2012) [62, 63].

Встречаются разные виды автоматических регистраторов для определения уровней СО, СО₂, относительной влажности и температуры воздушной среды. Расчет скорости вентиляции воздуха кабинетов проводится по результатам содержания СО₂. Процедура измерения приведена в ISO 16000-26 [64, 65].

Месторасположение пробоотборников.

Процедура определения содержания СО аналогична измерению прочих неорганических загрязнителей.

Автоматические портативные приборы для мониторинга качества воздуха в помещении.

Для определения содержания СО существуют коммерческие типы устройств. Приборы имеют сертификат калибровки производителя, однако перед применением необходимо провести тестирование с использованием специальных калибровочных наборов.

5.3 Полуволетучие органические соединения (ПЛОС).

В этом разделе основное внимание уделяется методам измерения загрязнителей, входящих в состав ПЛОС (Приложение 2): ФОС, фталаты, бромированные антипирены (BFR). ПАУ, ХП и мускусы.

Для снижения затрат для измерения ПЛОС возможно применение процедуры представленной в ISO 16000-12, применяемый для определения ПХБ, ПХДД/ПХДФ (фильтр + ППУ-диск и ГХМС) и ПАУ [37].

Перечисленные соединения подходят для мультиостаточного определения на ГХ-МС. В то же время имеются конкретные процедуры для ФОСА, ПАУ и фталатов (ISO 16000) [15].

Фталаты.

Процедура определения концентрации фталатов представлена в ISO 16000-33 [66].

Активные пробоотборники.

Фталаты отбираются с помощью сорбционных трубок: Tenax® TA (ISO 16000-6) [67] или Florisil® (в соответствии с ISO 16000-33) [66]. При невозможности купить трубки, их можно изготовить в условиях лаборатории согласно указанию, рекомендованной ISO 16000-33 [66].

При отборе проб воздуха необходимо использовать насос. Для сорбционных трубок, заполненных Tenax® TA, рекомендуемая скорость потока 50-20 мл/мин (объем образца 20-70 л), а для Florisil® (типовой объем 1-3 м3) скорость потока должна быть 2 л/мин.

Лабораторный анализ.

Методом ТД проводится экстрагирование трубок Tenax® TA. Трубки с Florisil® подвергаются экстрагированию с помощью растворителя, а анализ проводится с помощью ГХ-МС (ISO 16000-33) [66].

Мускусы.

В стандартах ISO и EN рекомендации по определению мускусов отсутствуют. Можно использовать как метод материалы статей рецензируемых специальных журналов.

Активные пробоотборники.

Метод активного отбора в диапазоне расхода от 2 л/мин до 0,3–0,4 м3/мин (объем пробы 2–100 м3) чаще используются для определения синтетического мускуса. Также была исследована вероятность отбора мускуса в виде частиц в твердой фазе с помощью МПО и объемных пробоотборников с СВФ или ФКВ и применения ППУ-диска в газообразном состоянии.

В своей работе Raffy et al. [44] пользовались активным ПО с ФКВ, размещенного впереди ППУ-диска (в стеклянной трубке). Для отбора проб через прибор насосом прокачивали воздух в течение 5 дней, со скоростью потока 2 л/мин. Скорость проверялся перед отбором и после отбора, при помощи наружного калибратора. С целью исключения воздействия шума на детей, насос помещался в специальную звукоизолирующую коробку.

Как один из вариантов допускается использование МПО (описание в разделе для ПАУ), в этом случае количество ПО может быть меньше.

Также установлено доминирование мускусов в газообразной форме [44].

Лабораторный анализ.

С помощью различных методов проводится экстрагирование мускуса. Например, Chen et al. [68] при исследовании применяли метод Сокслета с дихлорметаном (время экстракции 72 часа), Raffy et al. [44] пользовались жидкостным методом с дихлорметаном (под давлением). Анализа, во всех случаях, проводился с помощью ГХ-МС (Melymuk et al) [69]. Подробно о ГХ-ТМС информация представлена в исследованиях Raffy et al. и Mercier et al. [44, 70].

Как стандарт восстановления можно использовать п-терфенил-d10 (25 нг), а как стандарт внутренний - флуорантен-d10.

Бромированные огнестойкие добавки (БОД)

Для измерения БОД в воздушной среде до сих пор не разработаны стандарты EN и ISO.

Обычно для измерения применяются активный и ППО. Но из-за имеющихся ограничений в использовании ППУ-ППО, рекомендуется применение прибора для активного сбора проб [15].

Активные пробоотборники.

Перед ППУ-дискон устанавливают пробоотборники из СВФ или ФКВ, Для получения низкого внутреннего ПО множества соединений достаточным объемом проб считаются диапазон от нескольких сотен литров до 30 м³. Еще более низкий достигается в объемах 100-385 м³. [71]. Использование МПО для измерения БОД представлен в ISO 16000-13 (раздел ПАУ) [24].

Для измерения ПБДЭ (БДЭ-85, БДЭ-99, БДЭ-100 и БДЭ-119) в можно использовать активные устройства для взятия проб с персональными приборами для откачки воздуха [44]. Такое же устройство для исследования БДЭ-47, БДЭ-85, БДЭ-99, БДЭ-100, БДЭ-153 и БДЭ-154 в своих работах применяли Sakhi et al. (отбор в течение 24 часов со скоростью потока воздуха 12л/мин) [72].

Лабораторный анализ.

Прибор Сокслета, из-за надежности и значительной экстрагирующей способности чаще применяется, чтобы из растворителей извлечь БОД, даже несмотря отдельные недостатки. Возможно также использование методов экстракции ультразвуком (УЗ) или растворителем (дихлорметаном, толуолом, ацетоном или н-гексаном) под действия давления. Широко используется метод обработки серной кислотой (концентрированной) или применением некоторых сорбентов, таких как силикагель, глинозем, Florisil® (возможно сочетание их).

БОД, как правило, определяется с использованием ГХ-МС. Более подробно процедура анализа представлена в результатах работ некоторых ученых (Melymuk et al. [69], Lim et al. [73], Braouezec et al. [74]). Характеристики ГХ-МС/МС описаны Braouezec et al.[74].

Для измерения количества ПБДЭ используются ГХ-МСВР[69, 73] и ГХ-ОИЭЗ-МС [75].

В качестве внутреннего стандарта (для количественного определения целевого аналита) ПБДЭ, как правило, можно применять ¹³C-меченые БДЭ-28, БДЭ-47, БДЭ-99, БДЭ-153, БДЭ-183 и БДЭ-209 [69], а ¹³C-меченные БДЭ-77 и БДЭ-138 в качестве стандарта восстановления [69].

Стандарт ISO 22032 [76] и метод 1614А Агентства по охране окружающей среды США (US EPA) [15] могут быть применены для проведения процедуры определения количества ПБДЭ в пробах среды обитания.

Фосфорорганические антипирены (ФОСА).

Протокол определения веществ, которые придают огнеупорность на основе ФОС представлен в ISO 16000-31[77].

Активные приборы для взятия проб (пробоотборники).

В ISO 16000-31 [41] описана процедура взятия проб для ФОСА: сбор загрязнителей из воздуха со скоростью потока 2,7–2,8 м³/ч осуществляют на мелкодисперсный СВФ и пенополиуретановый (ППУ) диск в малообъемный пробоотборник (МПО). В ISO 16000-12 [37], данный прибор рекомендуется также для отбора проб ПАУ и ПЛОС (за исключением фталатов). Продолжительность взятия проб должен быть один час, объем собранных проб не более 10% от скорости обмена воздуха.

Лабораторный анализ.

Экстрагирование СВФ и пенополиуретанового (ППУ) диска проводится совместно приборе Сокслета с дихлорметаном. Для анализа используется ГХ-МСВР или ГХ-МСНР. Внутренний стандарт применяется для определения количества загрязнителей.

Хлорированный парафин (ХП) делятся на: - короткоцепные хлорированные парафины (КЦХП) с углеродной цепью длиной от 10 до 13 атомов (С10-13); среднецепные хлорированные парафины (КЦХП, С14-17); длинноцепные хлорированные парафины (ДЦХП, С18-30).

ХП используются промышленности для повышения огнеупорности пластиковых, текстильных и резиновых материалов и в виде жидкостей для охлаждения. Также входят в состав смазочных и поливинилхлоридных материалов, пластиковых и резиновых изделий и красок.

Активные пробоотборники.

Процедура для взятия проб ХП соответствуют процедуре для ПАУ (ISO 16000-12) и для ФОСА (ISO 16000-31) [37, 77]. Сбор ХП возможен на мелкодисперсный фильтр пенополиуретанового (ППУ) диске.

Лабораторный анализ.

Аналізу подвергаются ХП, которые извлекаются из фильтра и проходят очищение колонке силикагелем, затем подвергаются анализу на ГХ-ОИЭЗ-МС. Имеется информация о применении ГХ-МС/МС. В результатах исследования Zhou et al. [78] и Huang et al. [79] указаны методы взятия проб и проведения анализа воздушной среды помещений на содержание ХП.

Заключение

Разработанная методическая рекомендация по выбору оптимальных методов отбора проб и анализа измерения концентрации приоритетных химических веществ воздуха в помещениях школ и дошкольных учреждений является актуальной и практически значимой. Это инструмент поможет обеспечить безопасность и здоровье детей, поскольку воздух, которым они дышат внутри помещений, может содержать опасные химические вещества.

В методических рекомендациях представлены современные принципы и требования к методам отбора проб и определения приоритетных химических загрязнителей воздуха (17 основных загрязнителей, которые включены в инструмент для скрининговой оценки и 40 химических веществ вызывающих беспокойство) в помещениях зданий школ и дошкольных организаций. Это включает в себя использование специальных аппаратов и оборудования, которые обеспечивают надежные результаты. Кроме того, рекомендация содержит информацию о необходимых условиях для проведения анализа, таких как температура, влажность и время отбора проб.

Использованы протоколы, рекомендованные Международной организацией по стандартизации (ISO), адаптированных к ним национальных стандартов и взятые из материалов, опубликованных в рецензируемых журналах.

Одной из новых информации, которую можно добавить к методической рекомендации является описание современных технологий, которые могут быть использованы для измерения концентрации химических веществ. Существуют портативные приборы, которые позволяют проводить мгновенный анализ воздуха на месте. Это значительно ускоряет процесс и позволяет быстро реагировать на обнаружение опасных веществ.

Настоящая методическая рекомендация имеет значимость для регулярного мониторинга качества воздуха в школах и дошкольных учреждениях. Это позволит выявлять потенциальные проблемы и принимать меры по улучшению воздушной среды.

С внедрением методических рекомендации «Методы определения приоритетных химических веществ в помещениях зданий школ и дошкольных организаций» в республике будут применять при проведении измерений концентрации загрязняющих веществ в воздухе внутри помещений зданий школ и дошкольных организаций санитарно-химическими лабораториями санитарной службы.

Рекомендации, также могут быть использованы преподавателями, студентами, магистрантами, докторантами санитарно-гигиенических факультетов медицинских ВУЗов, и слушателями курсов повышения квалификации (по общей гигиене).

Список использованных источников:

1. Маснабиева Л.Б., Ефимова Н.В. Оценка структуры ингаляционного риска нарушений иммунитета при многомаршрутном поступлений поллютантов. Гигиена и санитария. 2018; 97(10). С. – 940-944.
2. Рахманин Ю.А., Сеницына О.О. Состояние и актуализация задач по совершенствованию научно-методологических и нормативно-правовых основ в области экологии человека и гигиены окружающей среды. Гигиена и санитария. 2013; (5):4-11.
3. Downward G.S., Hu W., Rothman N., Reiss B., Wu G., Wei F. et all. Outdoor, indoor, and personal black carbon exposure from cookstoves burning solid fuels. *Indoor Air*. 2016; 26(5):784-95. doi: 10.1111/ina.12255.
4. Василькевич В.М., Половинкин Л.В., Соболев Ю.А. Материалы на полимерной и древесной основе как гигиенически значимые факторы загрязнения воздуха помещений. *Здоровье и окружающая среда*. 2010; (16): 287-291.
5. Химические загрязнения воздуха закрытых помещений https://vk.com/wall-134391095_191.
6. Губернский Ю.Д., Калинина Н.В., Гапонова Е.Б., Банин И.М. Обоснование допустимого уровня содержания диоксида углерода в воздухе помещений жилых и общественных зданий. *Гигиена и санитария*. 2014; 93(6): 37-41.
7. Ferrero A., Esplugues A., Estarlich M., Llop S., Cases A. et all. Infants indoor and outdoor residential exposure to benzene and respiratory health in a Spanish cohort. *Environ. Pollut.* 2017; 222: 486-464. doi: 10.1016/j.envpol.2016.11.065
8. Syazwan A.I., Rafee B.M., Hafizan J., Azman A, Nizar A., Izwyn Zet al., Development of an indoor air quality checklist for risk assessment of indoor air pollutants by semiquantitative score in nonindustrial workplaces. *Risk Manag. Health. Policy*. 2012; 5(1): 17-23. doi: 10.2147/RMHP.S26567
9. Химическое загрязнение воздуха внутри помещений и связанные с ним риски для здоровья детей. Учебный курс. Всемирная организация здравоохранения 2021 г.
10. Химическое загрязнение воздуха помещений детских учреждений / Н.С. Польша, В.И. Ляшенко, С.Н. Джуриная, Е.С. Шкарбан // Гігієна населених місць. – 2010. – № 56. – С. 278–281.
11. Global air quality and climate / A.M. Fiore, V. Naik, D.V. Spracklen, A. Steiner, N. Unger, M. Prather, D. Bergmann, P.J. Cameron-Smith, I. Cionni, W.J. Collins // *Chemical Society reviews*. – 2012. – Vol. 41. –P. 6663–6683.
12. Kampa M., Castanas E. Human health effects of air pollution // *Environmental Pollution*. – 2008. – Vol. 151 (2). – P. 362–367.
13. А.Н. Ганькин, Т.Д. Гриценко, С.М. Соколов, Т.Н. Пронина. Риск здоровью учащихся, формируемый загрязнением среды учебных помещений. ПРАКТИКА ОЦЕНКИ РИСКА. 2014. С. 40-48.

14. Методы мониторинга качества воздуха в школьных помещениях. Отчет о совещании 4-5 апреля 2011 г. Бонн, Германия (ВОЗ).
15. Методы отбора проб и анализа химических загрязнителей воздуха внутри помещений. Публикация, дополняющая инструмент для скрининговой оценки рисков для здоровья комбинированного воздействия нескольких химических веществ в воздухе внутри помещений детских учреждений. ВОЗ, 2021 г.
16. WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2010 (<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/260127/9789289002134-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, accessed 21 November 2019).
17. ISO 16000-1:2004. Воздух внутри помещений – часть 1: общие аспекты методологии отбора проб.
18. СТ РК ИСО 16000-1-2010. Воздух рабочей зоны. Часть 1. Общие аспекты стратегии отбора проб.
19. ГОСТ Р ЕН 13205-2010: Воздух рабочей зоны. Оценка характеристик приборов для определения содержания твердых частиц.
20. ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1.
21. ГОСТ Р ИСО 3534-1—2019. Статистические методы. Словарь и условные обозначения. Часть 1.
22. ISO 3534-1:2006, Statistics — Vocabulary and symbols — Part 1: General statistical terms and terms used in probability, IDT
23. ГОСТ Р ИСО 16000-2-2007 Воздух замкнутых помещений. Часть 2. Отбор проб на содержание формальдегида. Основные положения.
24. ISO 16000-3:2011 Воздух замкнутых помещений. Часть 3. Определение содержания формальдегида и других карбонильных соединений. Метод активного отбора проб
25. ISO 16000-4:2011 - Воздух замкнутых помещений. Часть 4. Определение содержания формальдегида. Метод диффузного отбора проб: описание стандарта и тендеры.
26. ГОСТ ISO 16000-4- 2016. Воздух замкнутых помещений. Часть 4. Определение формальдегида. Метод диффузионного отбора проб.
27. ISO 16000-5:2007. Воздух внутри помещений – часть 5: методология отбора проб летучих органических соединений.
28. ГОСТ ISO 16000-5- 2009. Воздух замкнутых помещений - часть 5: методология отбора проб летучих органических соединений.
29. BS EN 14662-5:2005 Ambient air quality. Standard method for measurement of benzene concentrations Diffusive sampling followed by solvent desorption and gas chromatography.
30. ISO 16017-2:2003. Воздух атмосферный, рабочей зоны и замкнутых помещений: отбор проб летучих органических соединений при помощи сорбционной трубки с последующей термодесорбцией и газохроматографическим анализом на капиллярных колонках – часть 2: метод диффузионного отбора проб.

31. ISO 13528:2022 Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparison.

32. ГОСТ Р ЕН 838-2010. Воздух рабочей зоны. Диффузионные пробоотборники, используемые при определении содержания газов и паров. Требования и методы испытаний <http://uraltest.com/gost/001.013.040.030/gost-r-en-838-2010/>.

33. Saini A, Okeme JO, Goosey E, Diamond ML. Calibration of two passive air samplers for monitoring phthalates and brominated flame-retardants in indoor air. *Chemosphere*. 2015;137:166–73. doi:10.1016/j.chemosphere.2015.06.099.

34. Pegas PN, Alves CA, Evtugina MG, Nunes T, Cerqueira M, Franchi M et al. Seasonal evaluation of outdoor/indoor air quality in primary schools in Lisbon. *J Environ Monit*. 2011;13:657–67. doi:10.1039/c0em00472c.

35. Vicente ED, Ribeiro JP, Custódio D, Alves CA. Assessment of the indoor air quality in copy centres at Aveiro, Portugal. *Air Qual Atmos Health*. 2017;10:117–27. doi:10.1007/s11869-016-0401-8.

36. Alves C, Nunes T, Silva J, Duarte M. Comfort parameters and particulate matter (PM10 and PM2.5) in school classrooms and outdoor air. *Aerosol Air Qual Res*. 2013;13:1521–35. doi:10.4209/aaqr.2012.11.0321.

37. ISO 16000-12:2008. Методология отбора проб полихлордифенилов (ПХБ), полихлорированных дибензо-п-диоксинов (ПХДД), полихлорированных дибензофуранов (ПХДФ) и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ).

38. ISO 12884-2000 Ambient air. Determination of total (gas and particle phase) polycyclic aromatic hydrocarbons. Collection on sorbent-backed filters with gas chromatographic/mass spectrometric analyses.

39. ГОСТ Р ИСО 12884-2007 Воздух атмосферный. Определение общего содержания полициклических ароматических углеводородов (в газообразном состоянии и в виде твердых взвешенных частиц). Отбор проб на фильтр и сорбент с последующим анализом методом хромато-масс-спектрометрии

40. ISO 16362:2005 Ambient air. Determination of particle-phase polycyclic aromatic hydrocarbons by high performance liquid chromatography

41. ISO 16000-13:2008. Воздух внутри помещений – часть 13: определение общего содержания полихлорированных диоксиноподобных бифенилов (ПХБ) и полихлорированных дибензо-парадиоксинов/дибензофуранов (ПХДД/ПХДФ) (в газообразном состоянии и в виде твердых частиц). Отбор проб на фильтр и сорбент.

42. Mercier F, Gilles E, Saramito G, Glorennec P, Le Bot B. A multi-residue method for the simultaneous analysis in indoor dust of several classes of semi-volatile organic compounds by pressurized liquid extraction and gas chromatography/tandem mass spectrometry. *J Chromatogr A*. 2014;1336:101–11. doi:10.1016/j.chroma.2014.02.004.

43. Villanueva F, Sevilla G, Lara S, Martín P, Salgado S, Albaladejo J et al. Application of gas chromatography coupled with tandem mass spectrometry for the assessment of PAH levels in non industrial indoor air. *J Microchem*. 2018;142:117–25. doi:10.1016/j.microc.2018.06.021.

44. Raffy G, Mercier F, Blanchard O, Derbez M, Dassonville C, Bonvallet N et al. Semivolatile organic compounds in the air and dust of 30 French schools: a pilot study. *Indoor Air*. 2007;27:114–27. doi:10.1111/ina.12288.
45. ISO 16000-15:2008. Воздух внутри помещений: отбор проб для определения содержания диоксида азота (NO₂).
46. Hafkenscheid T, Fromage-Mariette A, Goelen E, Hangartner M, Pfeffer U, Plaisance H et al. Review of the application of diffusive samplers in the European Union for the monitoring of nitrogen dioxide in ambient air. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2009 ([https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC51106/reqno_jrc51106_eur_23793.pdf\[1\].pdf](https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC51106/reqno_jrc51106_eur_23793.pdf[1].pdf), accessed 21 November 2019).
47. ISO 6768:1998 Воздух окружающий. Определение концентрации по массе диоксида азота. Модифицированный метод Грисса-Зальцмана
48. GSO ISO 6768:2017 Gulf Standard Current Edition. Ambient Air -- Determination Of Mass Concentration Of Nitrogen Dioxide -- Modified Griess-Saltzman Method
49. СТ РК ИСО 6768-2010 Охрана природы. Атмосфера. Метод определения оксида азота (IV). (ИСО 6768:1998, IDT)
50. EN 16339:2013(MAIN) Ambient air - Method for the determination of the concentration of nitrogen dioxide by diffusive sampling.
51. User manual 2019 for Radiello® sampler. Version 1/2003. Vigonza: Fondazione Salvatore Maugeri; 2003 (<https://www.restek.com/pdfs/radiello-manual.pdf>, accessed 21 November 2019).
52. Ogawa & Co. Protocol for ozone measurement using the ozone passive sampler badge. Cambridge: Harvard School of Public Health; 2001 (<http://ogawausa.com/wp-content/uploads/2014/04/proozone.pdf>, accessed 21 November 2019).
53. ISO 16000-34:2018. Воздух внутри помещений – часть 34: методология определения содержания твердых частиц.
54. ISO 16000-37:2019. Воздух внутри помещений – часть 37: измерение массовой концентрации PM_{2,5}.
55. CSN EN 12341 Ambient air - Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM₁₀ or PM_{2,5} mass concentration of suspended particulate matter
56. DIN EN 12341-2014 Окружающий воздух. Стандартный гравиметрический метод измерения для определения PM<(индекс)>или PM<(индекс)2,5>массовой концентрации взвешенных частиц. Немецкая версия EN 12341:2014
57. Koutrakis P, Wolfson JM, Bunyaviroch A, Froehlich SE, Hirano K, Mulik JD. Measurement of ambient ozone using a nitrite-coated filter. *Anal Chem*. 1993;65(3):209–14. doi:10.1021/ac00051a004.
58. Cocheo V. Short and long time exposure ozone passive sampling by means of Radiello. In: Cocheo V, De Saeger E, Kotzias D, editors. International Conference on Air quality in Europe. Challenges for the 2000's. Venice, Italy. 1999:174.

59. Monn C, Hangartner M. Passive sampling for ozone. *J Air Waste Manage Assoc.* 1990;40(3):357–8. doi:10.1080/10473289.1990.10466694.
60. DIN EN 14412-2004 Воздух наружный. Качество. Диффузные пробы для определения концентрации газов и паров. Руководство по выбору, использованию и техническому обслуживанию.
61. Стандарт Управления по Охране Труда (OSHA, в Минтруда США) 29 CFR 1910.134 регулирующий выбор, индивидуальный подбор и организацию применения средств индивидуальной защиты органов дыхания.
62. DIN EN 14626-2012 Ambient air - Standard method for the measurement of the concentration of carbon monoxide by non-dispersive infrared spectroscopy; German version EN 14626:2012
63. СТ РК EN 14626-2017 Качество воздуха. Стандартные методы измерения концентрации угарного газа недисперсионной инфракрасной спектроскопией.
64. СТ РК ISO 16000-26-2019. Наименование НД. Воздух замкнутых помещений. Часть 26. Отбор проб при определении содержания диоксида углерода (CO₂)
65. ГОСТ Р ИСО 16000-26-2015 Воздух замкнутых помещений. Часть 26. Отбор проб при определении содержания диоксида углерода (CO₂)
66. ISO 16000-33:2017. Воздух внутри помещений – часть 33: определение содержания фталатов методом газовой хроматографии/масс-спектрометрии (ГХ/МС).
67. ISO 16000-6:2011. Определение летучих органических соединений в воздухе внутри помещений и испытательной камеры путем активного отбора проб на сорбент Tenax TA с последующей термической десорбцией и газохроматографическим анализом с использованием МС или МС/ПИД.
68. Chen D, Zeng X, Sheng Y, Bi X, Gui H, Sheng G et al. The concentrations and distribution of polycyclic musks in a typical cosmetic plant. *Chemosphere.* 2007;66:252. doi:10.1016/j.chemosphere.2006.05.024.
69. Melymuk L, Robson M, Helm PA, Diamond ML. Evaluation of passive air sampler calibrations: Selection of sampling rates and implications for the measurement of persistent organic pollutants in air. *Atmos Environ.* 2011;45:1867–75. doi:10.1016/j.atmosenv.2011.01.011.
70. Mercier F, Gilles E, Saramito G, Glorennec P, Le Bot B. A multi-residue method for the simultaneous analysis in indoor dust of several classes of semi-volatile organic compounds by pressurized liquid extraction and gas chromatography/tandem mass spectrometry. *J Chromatogr A.* 2014;1336:101–11. doi:10.1016/j.chroma.2014.02.004.
71. Garcia-Jares C, Regueiro J, Barro R, Dagnac T, Llompart M. Analysis of industrial contaminants in indoor air. Part 2. Emergent contaminants and pesticides. *J Chromatogr.* 2009;1216:567–97. doi:10.1016/j.chroma.2008.10.020.
72. Sakhi AK, Cequier E, Becher R, Bølling AK, Borgen AR, Schlabach M et al. Concentrations of selected chemicals in indoor air from Norwegian homes and schools. *Sci Total Environ.* 2019;674:1–8. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.04.086.

73. Lim YW, Kim HH, Lee CS, Shin DC, Chang YS, Yang JY. Exposure assessment and health risk of poly-brominated diphenyl ether (PBDE) flame retardants in the indoor environment of elementary school students in Korea. *Sci Total Environ.* 2014;470–471: 1376–89. [oi:10.1016/j.scitotenv.2013.09.013](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.09.013).

74. Braouezec C, Enriquez B, Blanchard M, Chevreuil M, Tell MJ. Cat serum contamination by phthalates, PCBs, and PBDEs versus food and indoor air. *Environ Sci Pollut Res.* 2016;23:9574–84. [doi:10.1007/s11356-016-6063-0](https://doi.org/10.1007/s11356-016-6063-0).

75. Ding N, Wang T, Chen SJ, Yu M, Zhu ZC, Tian M et al. Brominated flame retardants (BFRs) in indoor and outdoor air in a community in Guangzhou, a megacity of southern China. *Environ Pollut.* 2016;212:457–63. [doi:10.1016/j.envpol.2016.02.038](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.02.038).

76. СТБ ISO 22032-2022 Качество воды. Определение содержания некоторых полибромированных дифениловых эфиров в отложениях и осадке сточных вод. Метод с применением экстракции и газовой хроматографии/масс-спектрометрии

77. ISO 16000-31:2014. Воздух внутри помещений – часть 31: измерение добавок, придающих огнеупорные свойства, и пластификаторов на основе фосфорорганических соединений. Сложные эфиры фосфорной кислоты.

78. Zhou W, Shen M, Lam JCW, Zhu M, Liu L, Chen H, Du B et al. Size-dependent distribution and inhalation exposure characteristics of particle-bound chlorinated paraffins in indoor air in Guangzhou, China. *Environ Int.* 2018;121:675–82. [doi:10.1016/j.envint.2018.10.004](https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.10.004).

79. Huang H, Gao L, Xia D, Qiao L, Wang R, Su G et al. Characterization of short- and medium-chain chlorinated paraffins in outdoor/indoor PM10/PM2.5/PM1.0 in Beijing, China. *Environ Pollut.* 2017;225:674–80. [doi:10.1016/j.envpol.2017.03.054](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.03.054).

Приложение 1

Список приоритетных химикатов, включенных в инструмент для скрининговой оценки рисков комбинированного воздействия опасных химических веществ

Номер	Группа химических веществ		Вещество	Номер химической реферативной службы (CAS)	
1	Кислородсодержащие летучие органические соединения	Альдегиды	Формальдегид	50-00-0	
2			Ацетальдегид	75-07-0	
3	Летучие органические соединения (ЛОС)	Ароматические углеводороды	Бензол	71-43-2	
4			Этилбензол	100-41-4	
5			(О-,м-,п-) ксилол	95-47-6 108-38-3/106-42-3	
6			Стирол	100-42-5	
7			Толуол	108-88-3	
8			1,2,3 - триметилбензол	526-73-8	
9			1,4-дихлорбензол	106-46-7	
10			Эфиры	Бутилацетат	123-86-4
11			Терпены	Лимонен	138-86-3
12	α-пинен	80-56-8			
13	Хлорированные углеводороды	Тетрахлорэтилен	127-18-4		
14		Трихлорэтилен	79-01-6		
15	Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ)	Нафталин	91-20-3		
16	Полулетучие органические соединения (ПЛОС)	ПАУ	Бенз(а)перин	50-32-8	
17	Неорганические соединения	Диоксид азота (NO ₂)	NO ₂	10102-44-0	

Приложение 2

Другие загрязнители воздуха внутри помещений, вызывающие обеспокоенность

Номер	Группа химических веществ	Вещества
1	Твердые частицы	Твердые частицы с аэродинамическим диаметром менее 10 мкм (PM ₁₀)
2		Твердые частицы с аэродинамическим диаметром менее 2,5 мкм (PM _{2.5})
3	Неорганические	Оксид углерода (СО)
4		Озон (О ₃)
5	Фталаты	Диэтилфталат (ДЭФ)
6		Диизобутилфталат (ДИБФ)
7		Ди-н-бутилфталат (ДНБФ)
8	Мускусы	Галаксолид
9		Тоналид
10	ПАУ	Аценафтен
11		Аценафтилен
12		Фенантрен
13		Антрацен
14		Бенз(а)антрацен
15		Бензо(б)флуорантен
16		Бензо(к)флуорантен
17		Бензо(е)пирен
18		Бензо(ghi)перилен
19		Бензо(к)флуорантен
20		Хризен
21		Дибенз(а,h)антрацен
22		Дибензо(f,l)пирен
23		Флуорантен
24		Флуорен
25		Индено(1,2,3-cd)пирен
26		Пирен
27	Бромированные огнестойкие добавки (БОД) – полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ)	2,4,4'-трибромдифениловый эфир (БДЭ-28)
28		2,2',4,4'-тетрабромдифениловый эфир (БДЭ-47)
29		2,2',4,4',5-пентабромдифениловый эфир (БДЭ-99)
30		2,2',4,4',6-пентабромдифениловый эфир (БДЭ-100)
31		2,2',4,4',5,5'-гексабромдифениловый эфир (БДЭ-153)
32		2,2',3,4,4',5',6-гептабромдифениловый эфир (БДЭ-183)
33		2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'-декабромдифениловый эфир (БДЭ-183)
34		1,2-дибром-4-(1,2-дибромэтил)циклогексан (ДБЭ-ДБЦГ)
35	Фосфорорганические антипирены (ФОСА)	Трибутилфосфат (ТБФ)
36		Трис(2-бутоксиэтил)фосфат (ТБЭФ)
37		Трис(1-хлорпропан-2-ил)фосфат (ТХПФ)
38		Трис(2-хлорэтил)фосфат (ТХЭФ)
39	Хлорированные парафины (ХП)	Короткоцепные ХП (КЦХП) (С10-13)
40		Среднецепные ХП (СЦХП) (С14-17)
41		Длинноцепные ХП (ДЦХП) (С18-30)

Приложение 3

Список рекомендуемых методов

1. ASTM D1607-91(2005). Стандартный метод испытания на содержание диоксида азота в атмосфере (реакция Грисса-Зальцмана)
2. EPA Method TO-15, 1999. Компендиум методов определения токсических органических соединений в атмосферном воздухе - второе издание компендиума методов TO-15. Определение летучих органических соединений (ЛОС) в воздухе, собранном в специально подготовленные канистры
3. EPA Method 1614A, 2010. Определение бромированных дифениловых эфиров в воде, почве, отложениях и тканях методом ГХВР/МСВР
4. NIOSH 6700. Определение диоксида азота (при помощи диффузионного пробоотборника)
5. ISO 5725. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений
6. ISO 5725-1:1994. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений - часть 1: общие принципы и определения
7. ISO 5725-3:1994. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений - часть 3: промежуточные показатели прецизионности стандартного метода измерений
8. ISO 6768:1998. Воздух атмосферный. Определение концентрации по массе диоксида азота. Модифицированный метод Грисса-Зальцмана
9. ISO 12884:2000. Воздух атмосферный. Определение общей концентрации полициклических ароматических углеводородов (в газовом состоянии и в виде твердых частиц) - Сбор на фильтрах с сорбентом с газохроматографическим/масс- спектрометрическим анализом
10. ISO 13964:1998. Качество воздуха. Определение содержания озона в окружающем воздухе. Метод с применением ультрафиолетовой фотометрии
11. СТ РК ИСО 16000-1-2010 (ISO 16000-1:2004). Воздух внутри помещений - часть 1: общие аспекты стратегии отбора проб
12. СТ РК ИСО 16000-2-2010 (ISO 16000-2:2004). Воздух внутри помещений - часть 2: методология отбора проб формальдегида
13. СТ РК ИСО 16000-3-2010 (ISO 16000-3:2011). Воздух внутри помещений - часть 3: определение формальдегида и других карбонильных соединений в воздухе помещений и воздухе испытательной камеры путем активного метода отбора проб
14. СТ РК ИСО 16000-4-2010 (ISO 16000-4:2011). Воздух внутри помещений - часть 4: определение формальдегида методом диффузионного отбора проб
15. СТ РК ИСО 16000-5-2019 (ISO 16000-5:2007). Воздух внутри помещений - часть 5: методология отбора проб летучих органических

соединений

16. ISO 16000-6:2016. Воздух внутри помещений - часть 6: определение летучих органических соединений в воздухе внутри помещений и испытательной камеры путем активного отбора проб на сорбент Tenax TA с последующей термической десорбцией и газохроматографическим анализом с использованием МС или МС/ ПИД

17. ISO 16000-12:2008. Воздух внутри помещений - часть 12: методология отбора проб полихлордифенилов (ПХБ), полихлорированных дибензо-п-диоксинов (ПХДД), полихлорированных дибензофуранов (ПХДФ) и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ)

18. ISO 16000-13:2008. Воздух внутри помещений - часть 13: определение общего содержания полихлорированных диоксиноподобных бифенилов (ПХБ) и полихлорированных дибензо-парадиоксинов/дибензофуранов (ПХДД/ПХДФ) (в газообразном состоянии и в виде твердых частиц). Отбор проб на фильтр и сорбент

19. ISO 16000-15:2008. Воздух внутри помещений - часть 15: методология отбора проб диоксида азота (NO₂)

20. ISO 16000-26:2012. Воздух внутри помещений - часть 26: методология отбора проб диоксида углерода (CO₂)

21. ISO 16000-31:2014. Воздух внутри помещений - часть 31: измерение добавок, придающих огнеупорные свойства, и пластификаторов на основе фосфорорганических соединений. Сложные эфиры фосфорной кислоты

22. ISO 16000-33:2017. Воздух внутри помещений - часть 33: определение содержания фталатов методом газовой хроматографии/масс-спектрометрии (ГХ/МС)

23. ISO 16000-34:2018. Воздух внутри помещений - часть 34: методология определения содержания твердых частиц

24. ISO 16000-37:2019. Воздух внутри помещений - часть 37: измерение массовой концентрации PM_{2,5}

25. ISO 16017-1:2000. Воздух атмосферный, рабочей зоны и замкнутых помещений. Отбор проб летучих органических соединений при помощи сорбционной трубки с последующей термодесорбцией и газохроматографическим анализом на капиллярных колонках - часть 1: отбор проб методом прокачки

26. ISO 16017-2:2003. Воздух атмосферный, рабочей зоны и замкнутых помещений: отбор проб летучих органических соединений при помощи сорбционной трубки с последующей термодесорбцией и газохроматографическим анализом на капиллярных колонках - часть 2: метод диффузионного отбора проб

27. ISO 16362:2005. Воздух атмосферный - определение содержания полициклических ароматических углеводородов в виде твердых частиц методом высокоэффективной жидкостной хроматографии

28. ISO 22032:2006. Качество воды - определение некоторых полибромированных дифениловых эфиров в отстое и осадках сточных вод.

Метод с использованием экстракции и газовой хроматографии/масс-спектрометрии

29. EN 12341:2014. Воздух атмосферный - стандартный гравиметрический метод измерения для определения массовой концентрации твердых частиц PM_{2,5} или PM_{2,5}

30. EN 13528-2:2003. Качество атмосферного воздуха - диффузионные пробоотборники, используемые при определении содержания газов и паров. Требования и методы испытаний - часть 2: особые требования и методы испытаний

31. EN 13528-3:2003. Качество атмосферного воздуха - диффузионные пробоотборники, используемые при определении содержания газов и паров. Требования и методы испытаний - часть 3: руководство по выбору, использованию и техническому обслуживанию

32. EN 14211:2012. Атмосферный воздух - стандартный метод измерения концентрации диоксида азота и монооксида азота методом хемилюминесценции

33. EN 14412:2005. Качество воздуха внутри помещений - диффузионные пробоотборники, используемые при определении содержания газов и паров. Руководство по выбору, использованию и техническому обслуживанию

34. СТ РК EN 14662-4-2017 (EN 14662-2:2005). Качество атмосферного воздуха - стандартный метод измерения концентрации бензола - часть 2: отбор проб методом прокачки с последующей десорбцией растворителем и анализом методом газовой хроматографии

35. СТ РК EN 14662-4-2017 (EN 14662-5:2005). Качество атмосферного воздуха - стандартный метод измерения концентрации бензола - часть 5: диффузионный отбор проб с последующей десорбцией растворителем и анализом методом газовой хроматографии

36. EN 838:2010. Воздух рабочей зоны. Диффузионные пробоотборники, используемые при определении содержания газов и паров. Требования и методы испытаний

37. EN 14625:2012. Атмосферный воздух - стандартный метод измерения концентрации озона на основе фотометрии в ультрафиолетовой области спектра

38. EN 14626:2013. Атмосферный воздух - стандартный метод измерения концентрации оксида углерода методом недисперсионной инфракрасной спектроскопии

39. EN 16339:2013. Атмосферный воздух - стандартный метод определения концентрации диоксида азота с использованием диффузионного отбора проб

40. OSHA Method ID-214. Озон в воздухе рабочей зоны (фильтр из пропитанного стекловолокна) 2008.

Приложение 4

Методы отбора проб и проведения анализа загрязнителей воздуха внутри помещений

Метод отбора и/или анализа проб (название)	Прибор для отбора проб	Аналитический метод
Альдегиды (формальдегид и ацетальдегид) в газовом состоянии		
СТ РК ИСО 16000-2-2010 (идентичен международный стандарту ISO 16000-2:2004)	Воздух рабочей зоны. Часть 2. Метод отбора проб формальдегида	
СТ РК ИСО 16000-4-2010 (идентичен международному стандарту ISO 16000-4:2004)	Воздух рабочей зоны Часть 4 Определение содержания формальдегида Метод диффузионного отбора проб	Диффузионный пробоотборник (2,4-ДНФГ)
СТ РК ИСО 16000-3-2010 (идентичен международному стандарту ISO 16000-3:2001)	Воздух рабочей зоны Определение содержания формальдегида и других карбонильных смесей Часть 3 Метод активного отбора проб	Активный пробоотборник (2,4-ДНФГ)
Ароматические углеводороды¹, терпены², эфиры³, хлорированные углеводороды⁴, алканы⁵, полиароматические углеводород (нафталин) в газовом состоянии		
СТ РК ISO 16000-5-2019; ISO 16000-5	Воздух замкнутых помещений Часть 5 Отбор проб летучих органических соединений (лос)	
СТ РК 2029-2010; ISO 16017-2:2000	Отбор проб и анализ летучих органических соединений при помощи сорбционной трубки/термодесорбции/газохроматографического анализа на капиллярных колонках. Часть 2: диффузионный метод отбора проб	Диффузионный пробоотборник (Tenax, графитизированный уголь)
СТ РК 2029-2010; ISO 16017-1:2000	Отбор проб и анализ летучих органических соединений при помощи сорбционной трубки/термодесорбции/газохроматографического анализа на капиллярных колонках. Часть 1: отбор проб методом прокачки	Активный пробоотборник (PSP) (Tenax, графитизированный уголь)
		ТД-ГХ-МС/ПВД
		ТД-ГХ-МС/ПВД

Метод отбора и/или анализа проб (название)	Прибор для отбора проб	Аналитический метод	
Ароматические углеводороды¹, терпены², эфиры³, хлорированные углеводороды⁴, алканы⁵, полиароматические углеводород (нафталин) в газовом состоянии			
Межгосударственный стандарт ГОСТ ISO 16000-6-2016	Определение ЛОС в воздухе замкнутых помещений и испытательной камеры путем активного отбора проб на сорбент Tenax TA с последующей термической десорбцией и газохроматографическим анализом с использованием МС или МС-ПИД	Активный пробоотборник (PSP) (Tenax, графитизированный уголь)	ТД-ГХ-МС/ПИД
СТ РК EN 14662-4-2017 EN 14662-2 ⁱ	Качество воздуха. Стандартный метод измерения концентраций бензола. Часть 4. Диффузионный отбор образцов с последующей термической десорбцией и газовой хроматографией	Активный пробоотборник (PSP) (Tenax, TA(R))	ТД-ГХ-МС/ПИД
СТ РК EN 14662-4-2017 EN 14662-5 ⁱ	Качество воздуха. Стандартный метод измерения концентраций бензола. Часть 4. Диффузионный отбор образцов с последующей термической десорбцией и газовой хроматографией	Диффузионный пробоотборник (активированный уголь)	Десорбция растворителем-ГХ-МС/ПИД
ЕРА-ТО15	Воздушный метод ЕРА, токсичные органические вещества - 15 (ТО-15): определение летучих органических соединений (ЛОС) в воздухе, собранном в специально подготовленные канистры и проанализированном с помощью газовой хроматографии/масс-спектрометрии (ГХ/МС).	Активный пробоотборник	ГХ-МС

Метод отбора и/или анализа проб (название)	Прибор для отбора проб	Аналитический метод	
ПАУ (нафталин и бензо(а)пирен) в газовом состоянии и в виде твердых частиц			
ISO 16000-12	Воздух внутри помещений - часть 12: стратегия отбора проб ПХБ, ПХДД, ПХДФ и ПАУ	Активный пробоотборник (МПО, рекомендуемый в ISO 16000-13))	
ISO 12884	АВ - определение общего содержания ПАУ (в газообразном состоянии и в виде твердых частиц) - отбор проб на фильтр и сорбент с последующим анализом методом ГХ-МС		ГХ-МС
СТ РК ИСО 16362-2010; ISO 16362:2005	Атмосферный воздух - определение содержания частиц полициклических ароматических углеводородов методом ВЭЖХ		ВЭЖХ
Фталаты: ДЭФ, ДИБФ, ДНБФ в основном в газообразном состоянии			
ISO 16000-33	Определение содержания фталатов методом газовой хроматографии/масс-спектрометрии (ГХ/МС)	Активный пробоотборник	ТД-ГХ-МС
Полициклические мускусы: галаксолид (ННСВ) и тоналид (АНТН) в газообразном состоянии и в виде твердых частиц			
ISO 16000-13 (только для системы отбора проб) ⁱⁱ	Определение общего содержания (в газовом состоянии и в виде твердых частиц) ПХБ и ПХДД/ПХДФ - отбор проб на фильтр и сорбент	Активный пробоотборник – МПО	ГХ-МС/МС
БОД-ПБДЭ: БДЭ-28, БДЭ-47, БДЭ-99, БДЭ-100, БДЭ-153, БДЭ-183, БДЭ-209, ДБЭ-ДБЦГ в газовом состоянии и в виде твердых частиц			
ISO 16000-13 (только для системы отбора проб) ⁱⁱ	Определение общего содержания (в газовом состоянии и в виде твердых частиц) ПХБ и ПХДД/ПХДФ - отбор проб на фильтр и сорбент	Активный пробоотборник – МПО	ГХ-ОИЭЗ*-МС
ППО-ППУ	Сбор на ППО с ППУ-дискон	Диффузный пробоотборник	ГХ-МС

Метод отбора и/или анализа проб (название)	Прибор для отбора проб	Аналитический метод	
ФОСА: ТБФ, ТБЭФ, ТХПФ, ТХЭФ в газовом состоянии и в виде твердых частиц			
ISO 16000-31	Измерение добавок, придающих огнеупорные свойства, и пластификаторов на основе фосфорорганических соединений. Сложные эфиры фосфорной кислоты	Активный пробоотборник (МПО, рекомендуемый в ISO 16000-13)	ГХ-МСВР* ГХ-МСНР**
ХП: КЦХП, СЦХП, ДЦХП в газовом состоянии и в виде твердых частиц			
ISO 16000-13 (только для системы отбора проб) ⁱⁱ	Определение общего содержания (в газовом состоянии и в виде твердых частиц) ПХБ и ПХДД/ПХДФ - отбор проб на фильтр и сорбент		
Твердые частицы (PM_{2.5} и PM₁₀)			
ISO 16000-34	Методология определения содержания твердых частиц		
ISO 16000-37	Методология измерения массовой концентрации PM _{2.5}	Активный пробоотборник МПО (EN 12341)	Гравиметрический анализ-микровесы
Прямое считывание Дополнительный метод высокого временного разрешения (ISO 16000-34)	Мониторинг частиц в реальном времени	Непрерывный мониторинг	
Неорганические соединения в газовом состоянии: диоксид азота (NO₂)			
ISO 16000-15	Методология отбора проб NO ₂		
ISO 6768	Определение концентрации по массе NO ₂ -модифицированный метод Грисса-Зальцмана	Диффузионный пробоотборник	УФ-В* спектрофотометр
EN 16339	Определение концентрации NO ₂ методом диффузионного отбора проб	Диффузионный пробоотборник	УФ-В спектрофотометр ионная хроматография
ASTM D1607-91	Стандартный метод тестирования содержания NO ₂ в атмосфере (реакция Грисса-Зальцмана)	Активный пробоотборник	УФ-В спектрофотометр

Метод отбора и/или анализа проб (название)	Прибор для отбора проб	Аналитический метод
Неорганические соединения в газовом состоянии: диоксид азота (NO₂)		
EN 14211	Стандартный метод измерения концентрации NO ₂ при помощи хемилюминесценции	Автоматический пробоотборник Химилюминесценция
Неорганические соединения в газовом состоянии: озон (O₃)		
Метод МБТГ ⁶ Согласно EN 14412 и 13528-3	Озон (O ₃)-4,4'-дипиридилэтилен (метод МБТГ)	Диффузионный пробоотборник УФ-В7 спектрофотометр
Метод окисления нитрита Согласно EN 14412 и 13528-3	Протокол измерения O ₃	Диффузионный пробоотборник Ионохроматография
EN 14625 и ISO 13964	УФ-фотометрический метод	Автоматический пробоотборник УФ-фотометрия
Неорганические соединения в газовом состоянии: оксид углерода (CO)		
Прямое считывание	Автоматические портативные мониторы качества воздуха в помещениях (электрохимическая ячейка- непрерывный регистратор)	Электрохимический сенсор
СТ РК EN 14626-2017 EN 14626	Качество воздуха Стандартные методы измерения концентрации угарного газа недисперсионной инфракрасной спектроскопией	Автоматический пробоотборник Недисперсионная инфракрасная спектроскопия