

# **Краткий справочник по аналитическим методам для измерения содержания свинца в краске**

Второе издание



Всемирная организация  
здравоохранения



Глобальный фонд по окружающей среде  
Инвестиции в нашу планету



# **Краткий справочник по аналитическим методам для измерения содержания свинца в краске**

Второе издание



Всемирная организация  
здравоохранения



Глобальный фонд по окружающей среде  
Инвестиции в нашу планету

Краткий справочник по аналитическим методам для измерения содержания свинца в краске, второе издание  
[Brief guide to analytical methods for measuring lead in paint, second edition]

ISBN 978-92-4-000836-6 (версия онлайн)

ISBN 978-92-4-000837-3 (версия для печати)

© Всемирная организация здравоохранения, 2020

Некоторые права защищены. Данная работа распространяется на условиях лицензии Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 IGO (CC BY-NC-SA 3.0 IGO; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo>).

По условиям данной лицензии разрешается копирование, распространение и адаптация работы в некоммерческих целях при условии надлежащего цитирования по указанному ниже образцу. В случае какого-либо использования этой работы не должно подразумеваться, что ВОЗ одобряет какую-либо организацию, товар или услугу.

Использование эмблемы ВОЗ не разрешается. Результат адаптации работы должен распространяться на условиях такой же или аналогичной лицензии Creative Commons. Переводы настоящего материала на другие языки должны сопровождаться следующим предупреждением и библиографической ссылкой: «Данный перевод не был выполнен Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ), и ВОЗ не несет ответственность за его содержание или точность. Аутентичным и подлинным изданием является оригинальное издание на английском языке».

Любое урегулирование споров, возникающих в связи с указанной лицензией, проводится в соответствии с согласительным регламентом Всемирной организации интеллектуальной собственности.

**Пример оформления библиографической ссылки для цитирования.** Краткий справочник по аналитическим методам для измерения содержания свинца в краске, второе издание [Brief guide to analytical methods for measuring lead in paint, second edition]. Женева: Всемирная организация здравоохранения; 2020. Лицензия: [CC BY-NC-SA 3.0 IGO](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo).

**Данные каталогизации перед публикацией (CIP).** Данные CIP доступны по ссылке: <http://apps.who.int/iris/>.

**Приобретение, вопросы авторских прав и лицензирование.** Для приобретения публикаций ВОЗ перейдите по ссылке: <http://apps.who.int/bookorders>. Чтобы направить запрос для получения разрешения на коммерческое использование или задать вопрос об авторских правах и лицензировании, перейдите по ссылке: <http://www.who.int/about/licensing/>.

**Материалы третьих лиц.** Если вы хотите использовать содержащиеся в данной работе материалы, правообладателем которых является третье лицо, вам надлежит самостоятельно выяснить, требуется ли для этого разрешение правообладателя, и при необходимости получить у него такое разрешение. Риски возникновения претензий вследствие нарушения авторских прав третьих лиц, чьи материалы содержатся в настоящей работе, несет исключительно пользователь.

**Общие оговорки об ограничении ответственности.** Обозначения, используемые в настоящей публикации, и приводимые в ней материалы не отражают какого-либо мнения ВОЗ относительно юридического статуса какой-либо страны, территории, города или района или их органов власти, либо относительно делимитации их границ. Пунктирные линии на географических картах обозначают приблизительные границы, в отношении которых пока еще может быть не достигнуто полное согласие.

Упоминание конкретных компаний или продукции отдельных изготовителей, патентованной или нет, не означает, что ВОЗ поддерживает или рекомендует их, отдавая им предпочтение по сравнению с другими компаниями или продуктами аналогичного характера, не упомянутыми в тексте. За исключением случаев, когда имеют место ошибки и пропуски, названия патентованных продуктов выделяются начальными прописными буквами.

ВОЗ приняла все разумные меры предосторожности для проверки информации, содержащейся в настоящей публикации. Тем не менее опубликованные материалы распространяются без какой-либо явно выраженной или подразумеваемой гарантии их правильности. Ответственность за интерпретацию и использование материалов ложится на пользователей. ВОЗ ни в коем случае не несет ответственности за ущерб, возникший в результате использования этих материалов.

Перевод от TRADAS. В случае несоответствия между английской и русской версией текста исходный английский текст считать достоверным и имеющим обязательную силу.

Дизайн Lushomo

# Содержание

Благодарственное слово .....	iv
Сокращения .....	v
1. Цели и область применения .....	1
2. Общие сведения .....	1
3. Измерение содержания свинца в краске .....	2
3.1 Измерение общего и растворимого свинца .....	3
3.2 Единицы измерения .....	3
3.3 Методы отбора проб .....	4
3.3.1 Новая краска .....	4
3.3.2 Существующие красочные поверхности .....	4
4. Аналитические методы, используемые для определения содержания свинца в краске .....	5
4.1 Лабораторные методы .....	5
4.1.1 Атомно-адсорбционная спектрометрия пламени (ПААС) .....	5
4.1.2 Электротермальная атомно-адсорбционная спектрометрия (ЭТААС) или атомно-адсорбционная спектрометрия с применением графитовой печи (ГПААС) .....	6
4.1.3 Атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ИСП-АЭС) .....	6
4.2 Рентгеновская флуоресцентная спектрометрия (РФС) .....	6
4.2.1 Приборы РФС-ВР для работы в лаборатории .....	7
4.2.2 Рентгеновская флуоресцентная спектрометрия (РФС) в ручном исполнении .....	7
Обычная рентгеновская флуоресцентная спектрометрия (РФС) .....	7
Флуоресцентная рентгеновская спектроскопия высокого разрешения (РФС-ВР) .....	8
4.3 Наборы для химического анализа .....	9
5. Выбор наиболее подходящего метода .....	11
5.1 Как выбрать лабораторию .....	12
5.2 Как найти лабораторию .....	12
5.3 Как создать собственную лабораторию для определения содержания свинца в краске .....	13
6. Важные аспекты лабораторной практики .....	14
6.1 Предотвращение внешнего загрязнения .....	14
6.2 Обеспечение качества и контроль качества .....	14
6.2.1 Испытания in situ .....	15
6.3 Стандарты, сертификация и аккредитация .....	15
7. Выводы .....	16
8. Список использованной литературы .....	17
Приложение .....	21

# Благодарственное слово

Автором первого издания этого документа был д-р Паскаль Хефлигер (Pascal Haefliger) из Отдела общественного здравоохранения и окружающей среды Всемирной организации здравоохранения. Над обновлением работали Елена Жардан (Elena Jardan) и Джоанна Темповски (Joanna Tempowski) из Отдела окружающей среды, климатических изменений и здравоохранения Всемирной организации здравоохранения.

Упомянутые ниже коллеги редактировали и комментировали обновленный документ, и их вклад был принят с огромной благодарностью:

Анджела Бандемер (Angela Bandemehr), старший специалист по международным вопросам защиты окружающей среды, Бюро международных отношений и политики, Бюро по международным и племенным отношениям Агентства по защите окружающей среды, Вашингтон, округ Колумбия, Соединенные Штаты Америки.

Сара Броше (Sara Brosché), руководитель всемирной кампании за устранение свинца из краски, Международная сеть по устранению загрязняющих веществ (International Pollutants Elimination Network, IPEN), Гётеборг, Швеция

Калавати Чанна (Kalavati Channa), медицинский специалист, лаборатория «Lancet», Йоханнесбург, Южная Африка

Перри Готтесфельд, (Perry Gottesfeld), исполнительный директор компании «Occupational Knowledge International» (OK International), Сан-Франциско, Соединенные Штаты Америки

Халидия Хамидулина, директор Российского реестра потенциально опасных химических и биологических веществ, Москва, Россия

Анжела Мате (Angela Mathee), директор Отдела исследований в области охраны окружающей среды и здравоохранения, Южноафриканский совет по медицинским исследованиям, Тигерберг, Южная Африка

Ольга Сперанская, старший консультант IPEN и заместитель председателя совета директоров организации «Эко-Согласие», Москва, Российская Федерация

Говард Варнер (Howard Varner), директор лаборатории «Environmental Hazards Services LLC», Ричмонд, Соединенные Штаты Америки

Все рецензенты заполнили бланки заявления об интересах, которые были проверены техническим специалистом ВОЗ. Конфликт интересов не был выявлен.

Редактором данного документа является Джон Доусон (John Dawson).

Этот документ подготовлен ВОЗ в рамках полномасштабного проекта Глобального экологического фонда (Global Environment Facility, GEF) номер 9771: *Глобальный свод передовой практики в отношении вновь возникающих проблем в отношении политики по химическим веществам в рамках Стратегического подхода к международному регулированию химических веществ (SAICM)* Осуществлением этого проекта занимается UNEP (Программа ООН по окружающей среде), а исполнительные вопросы решает секретариат SAICM (Стратегический подход к международному регулированию химических веществ). ВОЗ благодарит Глобальный экологический фонд за финансовый вклад в разработку, редактирование и дизайн данного документа.

Этот документ является вкладом в концепцию «Химикаты без проблем — движение за более безопасную для здоровья и окружающей среды продукцию».

Дополнительную информацию вы можете найти здесь: [ipcsmail@who.int](mailto:ipcsmail@who.int).

# Сокращения

AAC	атомно-абсорбционная спектрометрия
AIHA	Американская ассоциация промышленной гигиены (American Industrial Hygiene Association)
ASTM	Американское общество по испытанию материалов (American Society for Testing and Materials)
DALY	Годы жизни, скорректированные на инвалидность
ELLAP	программа аккредитации лабораторий для определения содержания свинца в окружающей среде
ELPAT	программа квалификационных испытаний по определению содержания свинца в окружающей среде
EQA	внешнее обеспечение качества
ГПААС	атомно-абсорбционная спектрометрия в графитовой печи
ИСП-АЭС	атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанной плазмой
ИСП-МС	масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой
ILAC	Международная организация по сотрудничеству в области аккредитации лабораторий
ISO	Международная организация стандартизации
кг	килограмм
мг	миллиграмм
мл	миллилитр
мкл	микролитр
млн <sup>-1</sup>	миллионная доля, мг/кг
ПААС	пламенная атомно-абсорбционная спектрометрия
РФС	рентгеновская флуоресцентная спектроскопия
РФС ДЭ	энергодисперсионная флуоресцентная рентгеновская спектроскопия
РФС-ВР	рентгеновская флуоресцентная спектроскопия высокого разрешения
см	сантиметр
ЭТААС	электротермальная атомно-абсорбционная спектрометрия





# 1. Цели и область применения

Данный документ представляет собой краткий обзор аналитических методов, доступных для измерения содержания свинца в краске. Основная целевая аудитория — это сотрудники здравоохранения, научные организации и лица, принимающие стратегические решения, не являющиеся лабораторными специалистами, но привлекаемые к разработке планов по измерению концентрации свинца в новой краске и для исследований доступности на рынке для потребителей<sup>1</sup> краски, содержащей свинец.

В документе перечислены хорошо себя зарекомендовавшие аналитические методы измерения содержания свинца в краске и приводятся краткие описания некоторых характеристик этих методов, в том числе их сильные стороны и ограничения. Документ также подчеркивает для разных типов конкретных ситуаций и сценариев, какими соображениями следует руководствоваться при выборе между лабораторным методом и полевыми технологиями, а также при принятии решения о том, учредить ли собственную

лабораторию для определения содержания свинца или же прибегнуть к услугам сторонней лаборатории. Целью данного документа не является описание аналитических методов и протоколов или предоставление каких-либо конкретных рекомендаций относительно соответствующих методов или конкретного приборного оснащения. Подробную техническую информацию по данному вопросу вы сможете найти в других источниках, а ссылки на дополнительную информацию приводятся в разделе библиографии и в приложении

## 2. Общие сведения

Свинец — это ядовитый металл, широкое применение которого вызвало обширное загрязнение окружающей среды и проблемы в области здоровья во многих странах мира. В 2017 году от отравления свинцом умерло около 1,06 миллиона человек, 24,4 миллиона лет жизни с поправкой на инвалидность (DALY) было утрачено из-за длительного воздействия на здоровье, и наибольшее бремя легло на страны со средним и низким уровнем доходов (1).

Свинец представляет собой кумулятивный яд, который поражает множество систем организма, включая нервную, кроветворную, желудочно-кишечную, сердечно-сосудистую и мочевыделительную. Долговременные эффекты включают повышенный риск гипертензии, ишемической болезни сердца и заболеваний почек. Дети в особенности чувствительны к нейротоксическому воздействию свинца, и даже низкие уровни воздействия могут отрицательно повлиять на их когнитивное развитие и вызывать

поведенческие расстройства. Воздействие может быть пожизненным (2).

Несмотря на недавнее снижение использования свинца в горючем (бензине), в материалах для пайки и в паяльном деле, значительные источники воздействия свинца на организм все еще существуют, в том числе краска, содержащая свинец. Краска, содержащая свинец, может использоваться для окрашивания жилищ внутри и снаружи, в школах и других зданиях, в качестве краски для

<sup>1</sup> «Краска, содержащая свинец», по определению, содержащемуся в типовом законе и руководстве по регулированию содержащей свинец краски от Глобального альянса за прекращение использования свинца в красках, — это любая краска, в которой содержание свинца превышает максимальный предел, например 90 мг/кг.

игрушек, мебели, оборудования детских площадок и других изделий, с которыми могут контактировать дети, а также для нанесения дорожной разметки, окрашивания мостов и других наружных сооружений. Краска с высоким содержанием свинца по-прежнему доступна и широко используется во многих странах мира (3, 4). Даже там, где ее запретили для конкретного применения, краска с содержанием свинца может обнаружиться в старых домах и на старых предметах и изделиях (5).

Люди могут получить отравление свинцом в ходе профессиональной деятельности и при контакте с окружающей средой, в основном ингаляционным путем и путем попадания в организм через ЖКТ (проглатывания). В ходе профессиональной деятельности воздействие может иметь место при изготовлении красок, при покраске или удалении старой краски, а также при обновлении или демонтаже зданий и сооружений, окрашенных краской, содержащей свинец. При выжигании красочного покрытия, содержащего свинец, образуются аэрозоли и дым, содержащий свинец. Абразивные методы удаления краски, такие как

использование пескоструйной машины, приводят к получению большого количества свинцовой пыли, которую можно легко вдохнуть или проглотить. Хотя нетронутое красочное покрытие, содержащее свинец, в хорошем состоянии безвредно для здоровья, оно со временем разрушается, рассыпается хлопьями и превращается в пыль, которая может загрязнить окружающую среду в помещениях (6).

Содержащая свинец домашняя пыль — основной элемент общей свинцовой нагрузки на организм у детей (7). Маленькие дети в особенности чувствительны к воздействию свинца, так как у них при попадании этого элемента в организм через ЖКТ поглощается 40–50% его количества (8). Более того, присущие детям любопытство и привычка в определенном возрасте тащить все в рот приводят к тому, что они облизывают и заглатывают содержащие свинец или свинцовое покрытие предметы, например загрязненную почву или пыль и хлопья осыпающейся свинцовой краски (8). Кроме того, дети с извращенным аппетитом могут постоянно есть хлопья содержащей свинец краски или загрязненную свинцом почву.

## 3. Измерение содержания свинца в краске

Существуют две основные причины для измерения содержания свинца в краске:

- а) необходимость оценить новые краски либо для установления их соответствия нормативным или законодательным ограничениям, либо в порядке рыночных исследований с целью выяснить, продают ли содержащую свинец краску на рынке;
- б) для определения того, содержится ли свинец в краске, использованной для покраски домов или других поверхностей, мебели, оборудования детских площадок, игрушек, с тем чтобы определить потребность в мероприятиях по управлению рисками.

Тестирование с целью проверить соответствие законодательным нормативам для новых красок может проводиться двумя способами. Изготовитель (или импортер, или дистрибьютор) могут направить образцы краски в стороннюю лабораторию, которая проанализирует краску и оформит декларацию о соответствии, если содержание свинца укладывается в требуемые пределы. Регулирующие или правоохранительные органы также могут проводить инспекции и анализировать краску,

чтобы узнать, соответствует ли она нормативам по содержанию свинца, и в случае несоответствия могут применять санкции (9).

Результаты рыночных исследований новых видов краски можно использовать как доказательства того, что нужно улучшить государственное регулирование и исполнение требований в этой области. Исследования также могут обеспечить потребителей информацией, чтобы они могли принимать

обоснованные решения о покупке, и позволяя лоббировать государственный контроль над содержащей свинец краской. Такие исследования могут заставить изготовителей добровольно заняться изменением состава своей продукции.

В тех случаях, когда анализ уже имеющихся на стенах и других поверхностях красочных покрытий показал, что уровень содержания свинца в них высокий, могут быть приняты меры по управлению рисками, включая стабилизацию покрытия или удаление содержащей свинец краски. Обращаем ваше внимание на то, что при удалении содержащей свинец краски должны соблюдаться специальные инструкции, которые сводят к минимуму выделение свинца в окружающую среду и его воздействие на рабочих и других людей. Если свинец обнаруживается в игрушках или другой продукции, обычные меры по управлению рисками включают задержку товара на таможне, изъятие продукции с рынка и выпуск предупреждений для потребителей.

## 3.1 Измерение общего и растворимого свинца

Концентрацию свинца в краске можно измерить методами, которые определяют либо общее содержание свинца, либо содержание его растворимых форм. Большинство нормативных стандартов для новой краски основываются на общем содержании свинца, и это рекомендуемый тип измерений, описанный в *«Типовом законе и руководстве по отказу от применения свинца в краске»* (9).

Общее содержание свинца измеряется путем извлечения всего свинца, присутствующего в образце краски. Данный результат показывает общее количество свинца, которое может быть поглощено организмом при попадании в ЖКТ хлопьев или при вдыхании пыли краски из деградирующего или эродированного слоя или при вдыхании дыма, возникающего при горении краски.

Содержание растворимого свинца — это то количество свинца, которое может быть извлечено с помощью стандартных лабораторных испытаний, в ходе которых образец красочной пленки инкубируют с разбавленной кислотой. Содержание растворимого свинца иногда

измеряют с предположением, что соответствующий показатель отображает объем биодоступного свинца, то есть количество свинца, которое может абсорбироваться при сосании или проглатывании хлопьев свинцовой краски или покрытых такой краской предметов (10, 11). Однако при оценке содержащей свинец краски эти измерения не отражают в точности все содержание свинца, который может быть поглощен организмом (12). Кроме того, общее содержание свинца в красках с малым содержанием его растворимой формы может быть значительным (10). Например, недавнее исследование, проведенное в Китае, показало, что более половины исследованных красок, в которых содержание растворимого свинца составляло менее 90 миллионных долей (мг/кг), характеризовались общим содержанием свинца на уровне выше 90 мг/кг, иногда вплоть до 17 400 мг/кг (11).

## 3.2 Единицы измерения

Содержание свинца в краске может быть выражено как массовая концентрация или как концентрация на единицу окрашиваемой площади (иногда этот показатель называют «нагрузка по свинцу»). Массовая концентрация используется в отношении новых красок, и в большинстве нормативных стандартов упоминается общее содержание свинца в сухой красочной пленке, выраженное в процентах, миллионных долях или в миллиграммах на килограмм (мг/кг). Если речь идет об уже существующих красочных покрытиях, содержание свинца может выражаться как массовая концентрация (например, в миллионных долях, мг/кг) или как удельное количество относительно площади, то есть в миллиграммах на квадратный сантиметр (мг/см<sup>2</sup>).

Важно отметить, что массовая концентрация и нагрузка по свинцу не являются взаимозаменяемыми характеристиками. Не существует точного соотношения между измеренными в лаборатории значениями в мг/кг и мг/см<sup>2</sup> для краски, нанесенной на поверхность, так как состав и толщина красочного слоя меняются; кроме того, материал субстрата также может вносить вклад в ход анализа.

В таблице 1 приведены разные единицы измерения, в которых могут быть выражены результаты анализа в зависимости от используемого метода.

**Таблица 1. Единицы измерения при использовании разных методов**

Метод	Новая краска	Существующий красочный слой
Лабораторные анализы	млн <sup>-1</sup> , % или мг/кг	млн <sup>-1</sup> , %, мг/кг или мг/см <sup>2</sup>
Обычный ручной рентгеновский флуоресцентный спектрометр (РФС)	млн <sup>-1</sup> или %	мг/см <sup>2</sup> , млн <sup>-1</sup> (см. примечание «с»)
Ручной рентгеновский флуоресцентный спектрометр высокого разрешения (РФС-ВР)	млн <sup>-1</sup>	мг/см <sup>2</sup> , млн <sup>-1</sup>

Примечание.

- (а) между миллионными долями и мг/см математическая эквивалентность отсутствует;
- (б) 0,009% = 90 млн<sup>-1</sup> = 90 мг/кг
- (в) Некоторые РФС-анализаторы могут рассчитывать и выводить на дисплей содержание в миллионных долях, но для этого нужно задать плотность краски и толщину слоя (Олаф Хаупт (Olaf Haupt), компания «Thermo Scientific Field and Safety Instruments», личное общение, ноябрь 2019 г.).

## 3.3 Методы отбора проб

Методы отбора проб зависят от того, какая краска анализируется (новая или уже существующая), а также от того, какой метод анализа используется.

### 3.3.1 Новая краска

Для анализа новой краски (например, из банки) обычно применяют следующий метод отбора пробы: наносят краску тонким слоем на неметаллическую однородную поверхность, например на стекло или на плоскую гладкую деревянную поверхность, и дают высохнуть. Затем в лаборатории краску соскребают, готовят пробу и анализируют при помощи одной из инструментальных методик, описанных ниже в разделе 4.1 (13). Содержание свинца в высушенной красочной пленке можно также определить прямым измерением, не соскребая краску с тестируемой поверхности. Для этого используется рентгеновская флуоресцентная спектрометрия высокого разрешения (РФС-ВР).

Образцы жидкой краски можно анализировать на лабораторном РФС-ВР-спектрометре в специальных чашечках для образцов (кюветках), см. подраздел 4.2.1.

### 3.3.2 Существующие красочные поверхности

При отборе проб уже существующих красочных слоев для лабораторного анализа нужно соблюдать заранее разработанную стандартную операционную процедуру. Как правило (6, 14, 15), рекомендации при этом следующие:

- проба должна включать все слои краски, так как в нижних слоях вероятность обнаружения содержания свинца выше;
- проба должна содержать как можно меньше материала подложки (например, дерева, штукатурки, металла), так как подложка может вносить ошибку при представлении результата в виде массовой концентрации;
- в здании или в доме нужно собрать репрезентативные пробы из разных участков и зафиксировать местоположение сбора каждой пробы;
- поверхности, с которых отбирались пробы, нужно заделать, чтобы предотвратить дальнейший контакт со свинцом, если окажется, что краска его содержит.

Рекомендуется заранее уточнить в соответствующей лаборатории, каким должен быть минимальный объем пробы, ее упаковка, а также узнать другие требования к пробе. Результаты могут быть выражены как массовая концентрация, если измеряется масса образца, или в единицах массы на единицу площади, если можно в точности определить, с какой площади была взята проба.

Концентрацию свинца в краске, нанесенной, например, на стену, можно определить напрямую при помощи портативного спектрофотометра (РФС или РФС-ВР), при этом результаты обычно выражаются в мг/см<sup>2</sup>. Этот метод наиболее часто применяют при проведении инспекции домов на предмет использования краски, содержащей свинец, так как он позволяет быстро делать большое количество измерений и не требует нарушения поверхности красочного слоя (6, 15, 16).

## 4. Аналитические методы, используемые для определения содержания свинца в краске

Как упоминалось выше, содержание свинца можно измерять лабораторными методами, настольными или портативными приборами (РФС-спектрометрами) и при помощи тестовых наборов. В данном разделе приводится краткое описание этих методов.

### 4.1 Лабораторные методы

Чаще всего в лаборатории для определения содержания свинца в краске используют атомно-адсорбционную спектрометрию пламени (ПААС), электротермальную ААС (ЭТААС) и атомно-эмиссионную спектрометрию с индуктивно связанной плазмой (ИСП-АЭС). Хотя эти методы обладают разным уровнем точности и пределами обнаружения, все они позволяют адекватно определять содержание свинца в краске при тех пределах обнаружения и уровнях точности, которые необходимы при обычных обстоятельствах. Руководства, рекомендации и стандартные операционные процедуры для отбора проб, их подготовки и анализа этими и другими методами можно найти во множестве источников, в том числе, в литературе, которую выпускают производители красок, национальные учреждения и международные агентства по стандартизации (6, 13, 14, 17–19). Дополнительная информация представлена в приложении.

Измерение содержания свинца можно также выполнить с помощью настольного или стационарного спектрометра РФС-ВР, описанного в разделе 4.2.

К числу менее распространенных и потому не описываемых в данном документе методов относятся масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС), атомно-эмиссионная спектрометрия с дугой постоянного тока, дитизиновая спектрофотометрия, вольтамперометрия на основе анодного снятия покрытия и потенциометрическая вольтамперометрия со снятием покрытия.

#### 4.1.1 Атомно-адсорбционная спектрометрия пламени (ПААС)

В основу атомно-адсорбционной спектрометрии (ААС) положено взаимодействие между электронами внешней оболочки свободных газообразных незаряженных атомов и ультрафиолетовым излучением или видимым светом, который генерируется измеряемым элементом. В случае свинца, например, атомы свинца в катодной лампе возбуждаются и испускают свет определенной длины волны, который может поглощаться атомами свинца в образце. Свет проходит через атомизированный образец, и часть энергии поглощается атомами свинца, уменьшая количество излучения, попадающего в детектор. Количество поглощенного света (светопоглощение) связано линейным соотношением с концентрацией анализируемого вещества в образце (20). Чтобы выполнить измерение методом ААС, в прибор нужно внести содержащий свинец образец так, чтобы в пределах оптического пути в газовой фазе появились атомы свинца в основном состоянии; этот процесс называется атомизацией.

В спектрометрах ПААС обычно используют воздушно-ацетиленовое пламя, чтобы атомизировать свинец при температуре около 2100–2400 °C.

Методом ПААС можно определить концентрацию свинца в пределах 100 миллионных долей (мг/кг) (21). Хотя некоторые лаборатории разработали методики, способные измерять концентрации до 40 мг/кг, метод ПААС не является оптимальным для подтверждения соответствия предельному уровню 90 мг/кг.<sup>2</sup> Так как метод подразумевает непосредственную аспирацию пробы, нужно приготовить не менее 5 миллилитров (мл)



жидкой фазы (экстракта) для аспирации и получения устойчивого сигнала. Методу ПААС присущи помехи, связанные с рассеянием света и молекулярным поглощением его компонентами матрицы, но для их адекватной коррекции разработаны соответствующие подходы. Приборы ПААС, для работы с которыми нужны определенные лабораторные навыки, широко распространены; они могут быть опционально оснащены автоматическим устройством ввода пробы. Начальная цена такого прибора обычно невысока, а расходные материалы, такие как ацетилен для горелки, относительно недороги. Указанные приборы относительно нетребовательны к обслуживанию и способны анализировать до нескольких образцов в минуту (17).

#### 4.1.2 Электротермальная атомно-адсорбционная спектрометрия (ЭТААС) или атомно-адсорбционная спектрометрия с применением графитовой печи (ГПААС)

В большинстве систем ЭТААС используется нагреваемая током графитовая трубка для пиролиза и атомизации анализируемого вещества, поэтому такой метод еще называют ААС с применением графитовой печи (ГПААС) (20). Пиролизированный образец нагревают до температуры приблизительно 1700 °C в целях атомизации свинца (19). Приборы ЭТААС позволяют определять очень низкие концентрации, и для них нужно очень небольшое количество экстракта, приблизительно 20 микролитров (мкл) (17). Метод применим для определения концентрации свинца вплоть до 0,1 мг/кг (17).<sup>3</sup>

При проведении анализа методом ЭТААС возможны значительные помехи из-за рассеяния света и молекулярного поглощения компонентами матрицы, но существуют разного рода подходы, направленные на устранение воздействия таких помех, в том числе за счет применения химических модификаторов и методик фоновой коррекции Зеемана (17, 20). Для эксплуатации приборов ЭТААС нужны квалифицированные лаборанты.

Устройства ЭТААС широко распространены и требуют автоматических устройств подачи проб, чтобы добиться повышенной прецизионности результатов и большей пропускной способности.

Начальные затраты на оборудование — средние, стоимость расходных материалов и обслуживания значительная. Пропускная способность составляет приблизительно один образец в две-три минуты (17).

#### 4.1.3 Атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ИСП-АЭС)

В методе ИСП-АЭС используется источник индуктивно связанной плазмы (ионизированного газа очень высокой температуры, состоящего из электронов и положительно заряженных ионов) для диссоциации образца на составляющие его атомы или ионы. В таких высокоэнергетических условиях свинец, как и многие другие элементы, испускает свет с характерной длиной волны. Количество испускаемого света можно измерить, и оно коррелирует с концентрацией свинца в образце. Приборы, работающие по принципу ИСП-АЭС, обладают особым преимуществом: они позволяют определять несколько элементов одновременно.

С помощью метода ИСП-АЭС можно измерить концентрацию свинца вплоть до 2 мг/кг.<sup>4</sup> Требуемое количество образца — умеренное. Спектральные помехи — частое явление, но их можно корректировать (17). Для эксплуатации приборов ИСП-АЭС нужны опытные лаборанты. Начальная стоимость прибора высока, но основной расходный материал — это только газообразный аргон. Из-за сложности конструкции спектрометров ИСП-АЭС затраты на их техническое обслуживание относительно велики. Пропускная способность средняя, обычно около одного образца в минуту (17, 20).

## 4.2 Рентгеновская флуоресцентная спектрометрия (РФС)

Рентгеновский флуоресцентный спектрометрический анализ (РФС) — это быстрый метод анализа краски, не сопряженный с ее разрушением. Метод основан на том, что под действием излучения высокой энергии свинец, как и многие другие элементы, испускает

3 Там же.

4 Говард Варнер, личное общение, январь 2020 г.

рентгеновские лучи определенной частоты (это называется рентгеновской флуоресценцией). Это излучение возникает из-за вытеснения электронов с орбиталей К- или L- оболочки атома (6, 16). Источником возбуждающего излучения может служить рентгеновская трубка или источник гамма-излучения. Приборы с рентгеновским возбуждением могут обнаруживать флуоресценцию L-орбитали, а приборы с возбуждением за счет гамма-излучения могут обнаруживать флуоресценцию как L-, так и К-орбиталей (6, 16, 22).

Интенсивность излучения можно измерить, и оно коррелирует с концентрацией свинца в образце. Как и в случае с другими методами анализа, сначала нужно откалибровать прибор с использованием стандартных (эталонных) образцов.

У метода РФС есть две основные модификации: с дисперсией по энергии (РФС-ДЭ) и по длине волны (23). Устройства для РФС выпускаются как для лабораторий, так и в переносном и ручном вариантах, которые можно использовать в полевых условиях. Лабораторные системы для РФС-ДЭ отличаются большей мощностью, лучшей разрешающей способностью и меньшим пределом обнаружения, чем переносные и ручные модификации (23).

Отдельная категория РФС-ДЭ — это РФС высокого разрешения (РФС-ВР). В таких приборах РФС-ДЭ используется рентгеновская линза (кристалл) двойной кривизны, которая направляет интенсивный сфокусированный рентгеновский луч на поверхность исследуемого материала (23, 24). Благодаря такой системе становится возможным изготовление компактных, высокочувствительных и требующих малой мощности питания анализаторов. Системы РФС-ВР могут измерять содержание свинца в жидкой краске и в высушенном красочном слое, а результаты могут выдавать в мг/кг.

#### 4.2.1 Приборы РФС-ВР для работы в лаборатории

Для лабораторий выпускаются как отдельно устанавливаемые, так и настольные приборы РФС-ВР. Некоторые настольные варианты являются также и переносными и могут использоваться вне лабораторий при проверке соблюдения нормативов.

В лаборатории приборы РФС-ВР могут использоваться для измерения содержания

свинца в пленке краски непосредственно, без необходимости соскребания ее и растворения краски. Было показано, что такие измерения демонстрируют точность и прецизионность, сопоставимые с аналогичными показателями описанных выше лабораторных методов, и для них был разработан стандартный метод испытаний (25, 26).

Жидкую краску для анализа наливают в специальную чашечку для образцов, герметизируют пленкой и помещают напротив детектора. Хотя подготовка пробы намного проще, чем для описанных выше лабораторных методов, важно использовать правильную чашечку для образцов и правильную пленку, а также правильно собирать чашечку для образцов; поэтому необходимо определенное обучение лаборантов (27).

В сравнении с атомно-адсорбционными методами и ИКП-АЭС лабораторный метод РФС дешевле и проще в применении. Обычно диапазон определения составляет от 1 мг/кг до 100%.

#### 4.2.2 Рентгеновская флуоресцентная спектрометрия (РФС) в ручном исполнении

Существует целый ряд моделей РФС ручного типа. Такие приборы позволяют измерять содержание свинца в краске непосредственно на месте проведения осмотра, при этом не нужно повреждать ни краску, ни субстрат. В данном справочнике описываются два типа портативных полевых устройств для РФС: обычный и высокого разрешения.

Так как эти приборы содержат источник ионизирующего излучения, крайне важно обучить персонал безопасной работе с соответствующим прибором (6, 16). В некоторых странах операторы должны иметь разрешение и быть сертифицированы (6).

#### Обычная рентгеновская флуоресцентная спектрометрия (РФС)

Большинство ручных РФС-приборов определяют флуоресценцию за счет переходов электронов К-орбитали, некоторые — флуоресценцию за счет переходов электронов L-орбитали, а некоторые способны определять оба вида флуоресценции. Сравнение ручных приборов РФС показало, что те из них, которые определяют только L-флуоресценцию, могут давать ложноотрицательные результаты, если

содержащая свинец краска покрыта сверху слоем другой краски, так как рентгеновское L-излучение может не проникать сквозь эти слои и поэтому не достигать детектора. Для приборов, определяющих K-флуоресценцию, эта проблема была не так остра, поскольку рентгеновское K-излучение имеет большую энергию (16). С другой стороны, рентгеновское L-излучение с меньшей вероятностью подвержено влиянию субстрата, тогда как для приборов, регистрирующих флуоресценцию, связанную с K-оболочкой, может потребоваться введение поправок на характер субстрата (6, 22). Следовательно, важно выбрать правильный прибор, исходя из условий измерения; полезно при этом проконсультироваться с изготовителем.

Обычные приборы для РФС сообщают результат в единицах удельной массы (то есть в мг/см<sup>2</sup>). Некоторые устройства позволяют рассчитать и отобразить результат в миллионных долях (мг/кг) для окрашенных изделий, но для этого нужно ввести плотность краски и толщину слоя, и диапазон таких расчетов ограничен (23).<sup>5</sup>

Предел обнаружения методом РФС для некоторых случаев может составлять всего 5 мг/кг, но это зависит от времени тестирования, матрицы образца и наличия мешающих элементов.<sup>6</sup> Для краски на бытовых поверхностях результат может быть определен в диапазоне от 0,1 до 10 мг/см<sup>2,7</sup>. Диапазон может варьироваться в зависимости от субстрата под краской; например, железо сильно ухудшает предел обнаружения содержания свинца.<sup>8</sup>

Большинство устройств откалибровано для измерения содержания свинца в краске на разных подложках, например дереве, металле, цементе, гипсокартонных плитах (сухой штукатурке) и обычной штукатурке, и важно правильно выбрать настройки калибровки при использовании прибора. Хотя получение результата занимает всего несколько секунд, предел обнаружения и прецизионность повышаются при более длительном тестировании.

Современные РФС-приборы обладают высокой точностью, если они используются обученными техниками, которые выполняют все калибровочные процедуры и следят за правильным положением детектора относительно исследуемой поверхности.

Обычные устройства на основе РФС для определения содержания свинца в краске выпускает ряд изготовителей. Цена их относительно высока: от 10 000 до 50 000 долларов США. Они почти не требуют технического обслуживания, хотя радиоизотопный источник излучения нужно периодически менять. Короткое время анализа позволяет операторам быстро оценивать множество окрашенных поверхностей.

Рекомендации по определению содержания свинца в краске с помощью обычных РФС-приборов можно найти во многих источниках, в том числе в литературе, выпускаемой изготовителями приборов и национальными учреждениями (6, 16).

### **Флуоресцентная рентгеновская спектроскопия высокого разрешения (РФС-ВР)**

В отличие от обычной РФС, ручные приборы РФС-ВР могут отдельно измерять содержание свинца в краске и в субстрате и выводить результаты в мг/кг. В Соединенных Штатах Америки Комиссия по безопасности потребительских товаров считает анализ РФС-ВР приемлемым для измерений нормативного соответствия новых красок и уже существующего красочного покрытия (28). Имеется опубликованный метод определения содержания свинца в краске и материалах покрытий, в котором описывается диапазон определения в пределах 30–450 мг/кг (26). Основное ограничение метода — это стоимость оборудования, которая может быть выше, чем стоимость обычного оборудования РФС. Требования к подготовке операторов те же, что и для обычных РФС-анализаторов.

5 Олаф Хаупт, компания «Thermo Scientific Field and Safety Instruments», личное общение, ноябрь 2019 г.

6 Диего Чуор (Diego Tschuor), «CONTROLTECH AG», личное общение, ноябрь 2019 г.

7 Олаф Хаупт, компания «Thermo Scientific Field and Safety Instruments», личное общение, ноябрь 2019 г.

8 Олаф Хаупт, компания «Thermo Scientific Field and Safety Instruments», личное общение, ноябрь 2019 г.



## 4.3 Наборы для химического анализа

В продаже имеется множество наборов для химического анализа. Такие наборы не позволяют определять содержание свинца в краске с той же точностью, что лабораторный анализ и методы РФС, но мы включили эту информацию в справочник ради полноты охвата темы обсуждения.

Наборы для химического анализа бывают простыми (для качественного определения) или более сложными (для полуколичественного анализа). Многие такие методики основаны на определении изменения цвета, которое свидетельствует о наличии в образце свинца в количестве, превышающем определенную концентрацию. В самых простых наборах результат бывает либо положительный (свинец присутствует в количестве, превышающем определенный предел), либо отрицательный (свинец в указанной или более высокой концентрации отсутствует) — в зависимости от того, изменяется ли цвет реактива. Пороговая концентрация для изменения цвета зависит от того, какой набор используется, и может регулироваться нормативными актами той страны, в которой данный набор реализуется на рынке. Например, в Соединенных Штатах Америки такие наборы должны определять концентрацию, превышающую 1 мг/см<sup>2</sup> (6). В зависимости от контекста предполагаемого использования, некоторые химические наборы могут иметь и более низкий предел обнаружения.

В более простых наборах для проверки краски используется тампон, смоченный химическим реактивом, которым протирают поверхность краски, или же необходимо взять чешуйку

краски из указанной области, а затем смешать ее с реактивами в пробирке. В более сложных наборах кусочки красочного покрытия подвергают анализу флуориметрическими или фотометрическими методами (29, 30). Агентство Соединенных Штатов Америки по защите окружающей среды оценило ряд таких наборов, и дополнительную информацию об этом вы сможете найти на веб-сайте организации (31).

Указанные наборы имеют ряд ограничений (6, 30, 32). С помощью наборов можно тестировать только открытые участки красочного слоя; следовательно, для анализа нижележащих слоев, которые с большей вероятностью могут содержать свинец, нужно процарапать поверхность краски или взять ее чешуйку (в зависимости от используемого метода). Для некоторых наборов может оказаться, что изменение цвета сложно определить, в особенности если цвет самой краски темный. Как правило, такие наборы не позволяют определить количество свинца в краске, и даже полуколичественные методы позволяют определить только диапазон концентраций. Наконец, наборы для химического анализа имеют ограниченную точность. Иными словами, они могут показать, что свинец присутствует в краске на уровне выше определенной концентрации, хотя на самом деле это не так (ложноположительный результат), или что свинец в концентрации выше определенного уровня отсутствует, когда он на самом деле присутствует (ложноотрицательный результат) (32). Поэтому для точного определения содержания свинца в краске, как правило, используются не химические наборы, а другие методы.

Разные характеристики различных аналитических методов приведены в таблице 2.

**Таблица 2. Обзор аналитических методов определения содержания свинца в краске**

Метод	Преимущества	Ограничения
Пламенная атомно-абсорбционная спектроскопия (ПААС)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Относительно простое использование и умеренные затраты</li> <li>• Может оснащаться устройством автоматической подачи проб, то есть допускает обработку серий образцов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Нужны специальные газы</li> <li>• Предел обнаружения зависит от подготовки образца и используемого метода</li> <li>• Требуются опытные лаборанты</li> </ul>
Электротермальная атомно-абсорбционная спектроскопия (ЭТААС)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Можно анализировать очень маленькие объемы образцов</li> <li>• Может оснащаться устройством автоматической подачи проб, то есть допускает обработку крупных серий образцов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Нужны специальные газы</li> <li>• Требуются опытные лаборанты</li> </ul>
Атомно-эмиссионная спектроскопия с индуктивно связанной плазмой (ИСП-АЭС)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Экономически эффективна при испытаниях крупных партий образцов</li> <li>• Можно анализировать очень маленькие объемы образцов</li> <li>• Можно определять изотопное соотношение, что помогает установить источник свинца</li> <li>• Очень низкий предел обнаружения</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Дорогой метод с высокими эксплуатационными затратами</li> <li>• Требуются очень опытные лаборанты</li> </ul>
Лабораторная установка для флуоресцентной рентгеновской спектроскопии высокого разрешения (РФС-ВР)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Низкие затраты на эксплуатацию</li> <li>• Можно измерять содержание свинца в жидких пробах краски</li> <li>• Простая пробоподготовка</li> <li>• Низкий предел обнаружения</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Высокая закупочная цена</li> <li>• Требует обучения для того, чтобы гарантировать точные результаты и соблюдение требований охраны труда и безопасности</li> </ul>
Обычный ручной рентгеновский флуоресцентный спектрометр (РФС)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Может использоваться непосредственно в месте нахождения тестируемого красочного слоя</li> <li>• Не нужно повреждать поверхность краски</li> <li>• Высокая точность</li> <li>• Немедленное получение результатов</li> <li>• За короткое время можно измерить множество поверхностей</li> <li>• Дешевле, чем лабораторные методы, при необходимости исследовать множество поверхностей</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Требует обучения для того, чтобы гарантировать точные результаты и соблюдение требований охраны труда и безопасности</li> <li>• Оператору может потребоваться лицензия и (или) сертификация</li> <li>• Относительно высокая закупочная цена</li> </ul>
Ручной рентгеновский флуоресцентный спектрометр высокого разрешения (РФС-ВР)	<p>То же, что и для обычного прибора РФС, плюс:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Можно выводить результаты в мг/кг</li> <li>• Низкий предел обнаружения (ниже 90 мг/кг)</li> <li>• Можно использовать на высушенном слое краски при определении содержания свинца в новой краске с целью подтверждения нормативного соответствия</li> </ul>	<p>То же, что и для обычного прибора РФС</p>
Наборы для химического анализа (на месте)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Качественное определение содержания свинца в краске на стенах и других поверхностях</li> <li>• Немедленное получение результатов</li> <li>• Низкая закупочная стоимость и низкие эксплуатационные расходы</li> <li>• Относительная простота использования</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Невозможно добиться точного измерения</li> <li>• Возможны ложноположительные и ложноотрицательные результаты</li> <li>• Подходит для исследований в первую очередь поверхностных (верхних) слоев краски</li> <li>• Может быть сопряжено с повреждением красочного слоя</li> <li>• Если краска темная, изменение цвета может быть плохо различимо</li> <li>• Для некоторых поверхностей, например штукатурки, может потребоваться особая процедура</li> </ul>

## 5. Выбор наиболее подходящего метода

Выбор метода зависит от множества факторов, включая причину проведения анализа (проверка соблюдения нормативов, оценка рисков или скрининг), количество исследуемых образцов, тип субстрата (новая краска, ранее окрашенная поверхность, размер или форма поверхности), затратные ограничения, необходимость прецизионного измерения, требуемый предел количественного определения и наличие обученного персонала и аналитического оборудования.

Что касается предела количественного определения, рекомендуется, чтобы он составлял не более 20% от нормативного предельного содержания или менее (33). Если нормативное предельное

содержание составляет 90 мг/кг, то вам понадобится метод, способный определять по меньшей мере 18 мг/кг. В таблице 3 приведена сводка анализов и их применения для различных целей.

**Таблица 3. Выбор наиболее подходящего анализа для поставленной цели**

Цель испытания	Лабораторные методы	Рентгеновская флуоресцентная спектрометрия			Набор для химического анализа
		Лаборатория	Обычная РФС, ручной прибор	РФС-ВР, ручной прибор	
Проверка новой краски на нормативное соответствие	Да	Да — показания можно снимать с образца жидкой краски или высушенной красочной пленки	Нет — результаты доступны только в мг/см <sup>2</sup>	Да — результаты могут быть выражены в мг/кг, считывание возможно по образцу высушенной красочной пленки	Нет
Рыночный обзор новой краски	Да	Да — показания можно снимать с образца жидкой краски или высушенной красочной пленки	Нет — результаты доступны только в мг/см <sup>2</sup>	Да — результаты могут быть выражены в мг/кг, считывание возможно по образцу высушенной красочной пленки	Нет
Испытание существующих красочных покрытий в домах, школах и на других объектах	Да — в некоторой степени поверхность краски будет повреждена	Да — в некоторой степени поверхность краски будет повреждена	Да	Да	Не рекомендуется
Испытание краски на игрушках и других предметах сложной формы	Да	Да	Да	Да	Нет

Лабораторные анализы позволяют проводить точные измерения содержания свинца в краске (новой краске или в уже существующем покрытии) при наличии правильно взятых проб и соблюдении адекватных принципов обеспечения качества (см. раздел 6.2). Для отбора проб, их транспортировки и в случае методов ПААС, ЭТААС и ИКС-АЭС, при лабораторном анализе требуется высокий уровень навыков и много времени (лабораторный метод РФС-ВР гораздо быстрее и проще). Затраты на перевозку образцов и лабораторный анализ могут быть значительными: это зависит от местоположения лаборатории, количества образцов и используемого метода анализа. Если испытанию подвергается существующий красочный слой, для отбора пробы придется его повредить.

Ручные РФС-приборы представляют собой альтернативный способ измерения уровня содержания свинца в уже существующем красочном покрытии, так как при отборе пробы не требуется снятие краски или разрушение слоя; он также хорош своей быстротой и низкими удельными затратами (из расчета на образец). Поэтому метод РФС предпочтителен, если нужно провести осмотр дома в целях выявления краски с содержанием свинца (6, 15).

Однако лабораторные анализы рекомендованы в следующих ситуациях:

- когда нужна высокая точность или низкие пределы обнаружения;
- для недоступных областей или компонентов конструкций сложной формы, которые сложно проверить с помощью приборов РФС;
- Для подтверждения результатов определения, полученных с применением ручного РФС-прибора и близких к пределу обнаружения.

Хотя химические наборы тоже дают немедленный результат, они позволяют получить только ограниченную информацию о концентрации свинца; они также наименее точны и надежны с методической точки зрения.

## 5.1 Как выбрать лабораторию

Есть ряд факторов, которые нужно учитывать при выборе лаборатории для испытания краски, и обычно рекомендуется заранее связываться с лабораторией и проверять возможность выполнения нужных вам анализов. Качество предлагаемых услуг — крайне важный фактор. Использование услуг лаборатории, сертифицированной известным органом и аккредитованной для проведения конкретных испытаний, даст вам уверенность в точности и надежности полученных результатов анализа. Это в особенности важно при испытании красок с целью получения сертификата соответствия содержания свинца в краске требованиям законодательства. Дополнительная информация о качестве лабораторий, включая аккредитацию, представлена в разделе 6.

Иные факторы, оказывающие влияние на выбор:

- опыт лаборатории в испытании красок,
- используемые аналитические методы и предел обнаружения,
- требования к отбору проб,
- способность обрабатывать требуемое количество образцов,
- затраты на анализ, включая затраты на перевозку,
- время выполнения задания.

## 5.2 Как найти лабораторию

Информацию о лабораториях, аккредитованных для целей измерения уровня содержания свинца в краске, обычно можно найти на веб-сайтах национальных органов аккредитации. Контактные данные национальных органов аккредитации приведены на веб-сайте Международной организации по сотрудничеству в области аккредитации лабораторий (International Laboratory Accreditation Cooperation, ILAC),<sup>9</sup> на котором представлен список тех органов, которые подписали Соглашение ILAC о взаимном признании результатов. На этом веб-сайте также есть сведения о региональных организационных структурах, представляющих органы аккредитации.

9 <https://ilac.org/signatory-search>

Другим источником информации является веб-сайт программы квалификационных испытаний Американской ассоциации промышленной гигиены (AIIHA) <sup>10</sup>. Под эгидой AIIHA проводится программа квалификационных испытаний по определению свинца в окружающей среде (ELPAT) (34), и ассоциация приводит список более чем 250 лабораторий в Соединенных Штатах Америки и других странах, которые недавно прошли квалификационные испытания для целей определения содержания свинца в краске.

Комиссия Соединенных Штатов Америки по безопасности потребительских товаров <sup>11</sup> ведет список лабораторий, которые сертифицированы для проведения сторонних испытаний на соответствие действующим требованиям в сфере безопасности, установленным федеральным законодательством, в отношении детских товаров (35). Список включает сертифицированные лаборатории в Соединенных Штатах Америки и других странах, которые могут определять свинец в краске.

## 5.3 Как создать собственную лабораторию для определения содержания свинца в краске

Создание собственной лаборатории, оказывающей услуги по определению содержания свинца в краске, требует значительных вложений ресурсов. Кроме того, необходимо учитывать некоторые описываемые ниже аспекты.

- Будет ли достаточно заказов, обеспечивающих соответствующую лабораторию работой?
- Есть ли в стране или за рубежом другая лаборатория, которая уже предлагает такие же услуги по разумной цене и в течение приемлемого срока выполнения?
- Есть ли существующая лаборатория, которая могла бы добавить испытания красок в список оказываемых услуг?
- Какой тип приборов понадобится для целей лаборатории (РФС-ВР, ГПААС, ЭТААС, ИКП-АЭС)?
- Имеется ли в наличии нужное аналитическое оборудование или его придется закупать?
- Достаточно ли у вас средств для закупки оборудования, его монтажа, обслуживания и эксплуатации, включая закупку сертифицированных стандартных материалов и замену расходных материалов (трубок, ламп, газов)?
- Имеется ли подходящее помещение для лаборатории с надежным и бесперебойным водо- и электроснабжением? Может ли быть перестроено существующее здание или придется строить новую лабораторию?
- Хватает ли соответствующим образом обученного лабораторного персонала для работы с выбранными приборами?
- Будет ли лаборатория подавать заявку на аккредитацию с целью предоставления услуг измерения содержания свинца в краске и достаточно ли для этого ресурсов?

10 <https://online.aihatpat.org/patssa/f?p=AIHASSA:17800; ищите программу лабораторий ELPAT>

11 <https://www.cpsc.gov/cgi-bin/labsearch/>

## 6. Важные аспекты лабораторной практики

В аналитической химии даже самое сложное и точное оборудование будет давать неверные результаты, если образцы были неправильно собраны и с ними неправильно обращались при перевозке и подготовке, если само оборудование эксплуатируется неправильно, если не осуществляется периодическое техническое обслуживание или если операторы не соблюдают протоколы проведения анализов. Две проблемы, связанные с определением содержания свинца в краске, — это нераспознанное загрязнение образца и недостаточное обеспечение и контроль качества. Данные вопросы коротко освещены в следующих разделах.

### 6.1 Предотвращение внешнего загрязнения

Свинец вездесущ и может загрязнять образцы самым разным образом, в особенности если в лаборатории анализируют хлопья краски. Загрязнение может произойти во время отбора проб, при их хранении и транспортировке, а также при манипуляциях с образцами. Качество отбора образцов и правильное обращение с ними — ключевой аспект точного определения содержания свинца в краске. При этом следует соблюдать стандартную операционную процедуру, в которой предусмотрены меры для предотвращения загрязнения, такие как использование новых пробоотборных устройств для каждого отдельного образца (17).

Пробоподготовка в лаборатории также сопряжена с риском загрязнения. В лаборатории работу следует организовать таким образом, чтобы вероятность загрязнения образцов свинцом была сведена к минимуму, при этом персонал лаборатории должен быть надлежащим образом обучен, чтобы не допускать загрязнения образцов. Для различных методов анализа существуют специальные протоколы, в том числе составленные изготовителями оборудования и агентствами по стандартизации, и эти протоколы нужно строго соблюдать (13, 17–19). Риски загрязнения могут быть существенно снижены за счет применения адекватных мер обеспечения качества (33).

### 6.2 Обеспечение качества и контроль качества

Обеспечение и контроль качества — это элементы, составляющие систему управления качеством. Управление качеством подразумевает интеграцию всех аспектов деятельности лаборатории, включая организационную структуру, процессы, процедуры и ресурсы, с тем чтобы гарантировать, что заказчики получают услугу высокого качества и что результаты данной лаборатории будут надежными и воспроизводимыми (33, 36).

Обеспечение качества касается процессов и процедур. Оно заключается в использовании научно и технически обоснованных практик лабораторных исследований, в том числе тех, которые касаются выбора, сбора, хранения и транспортировки образцов, а также документальной фиксации результатов, их интерпретации и составления отчетов. Сюда также относятся обучение и руководство, которые предназначены для улучшения надежности исследований. Обеспечение качества включает первоначальную оценку аналитического метода на предмет его практической осуществимости и верности, то есть проверку линейности, специфичности, выхода, калибровочных стандартов, холостых проб, предела обнаружения и предела количественного определения, а также устойчивости результатов (17).

Под контролем качества понимают контроль ошибок, возникающих при выполнении испытаний, и верификацию результатов испытаний. Контроль



включает два элемента: внутренний контроль качества и внешнюю оценку качества.

**Внутренний контроль качества:** Это ряд процедур, используемых персоналом лаборатории для непрерывной оценки результатов в процессе их получения, с тем чтобы определить, насколько они точны, прецизионны и, следовательно, достаточно ли они надежны, чтобы их можно было обнародовать (17, 20). Примером мероприятий по контролю качества может быть анализ контрольных образцов краски с хорошо охарактеризованным содержанием свинца для проверки качества работы аналитической методики. В случае если есть надлежащие (сертифицированные) эталонные материалы, в которых совпадают с исследуемыми концентрация и матрица, такие материалы настоятельно рекомендуется использовать на этапе валидации и регулярного контроля качества. Агентство Соединенных Штатов Америки по защите окружающей среды разработало процедуры контроля качества для измерения содержания свинца в краске (17, 33). В стандартную операционную процедуру анализа образцов должно, как правило, входить описание мер по контролю качества (33).

**Внешняя оценка качества (ВОК).** Это система объективной оценки качества работы лаборатории внешней организацией. Обычно в лабораторию при этом присылают «слепые» образцы с неизвестным содержанием свинца. Затем результаты сравнивают с фактической концентрацией свинца, которая остается неизвестной до момента окончания анализа. Сравнивают между собой также результаты других лабораторий, участвующих в схеме. Обычно схемы внешнего оценивания подразумевают проведение некоторого количества аналогичных испытательных циклов в течение года. Выше упоминалась схема ELPAT как пример схемы ВОК для определения содержания свинца в хлопьях краски (а также в пыли и почве). Оценивание проводится ежеквартально.

### 6.2.1 Испытания *in situ*

Необходимость в обеспечении качества и в мерах по контролю качества также относится и к результатам, получаемым вне лаборатории, например при применении приборов РФС для оценки содержания свинца в краске, используемой в зданиях. Такие меры подразумевают обеспечение надлежащего обучения персонала и применение калибровочных проверок и контрольных испытаний (6).

## 6.3 Стандарты, сертификация и аккредитация

Стандарты, сертификация и аккредитация — это важные меры, которые гарантируют и демонстрируют качество лаборатории.

Стандарт — это документ, составленный в согласительном порядке и утвержденный общепризнанным органом, который содержит рекомендации или характеристики действий или их результатов, предназначен для всеобщего и неоднократного применения и имеет целью достижение оптимальной степени порядка в заданном контексте (36). Стандарты могут быть национальными и международными. Примерами международных стандартов, относящихся к измерению содержания свинца в краске, являются стандарты, которые были разработаны Международной организацией по стандартизации (ISO) и организацией ASTM International. Они перечислены в приложении.

Сертификация — это процедура, в ходе которой независимый орган дает письменное заверение в том, что процесс или услуга соответствуют конкретным требованиям. Это подразумевает проверку лаборатории представителями сертификационного органа, которые изучат доказательства соблюдения стандартов, политик, процедур, требований и нормативных актов. Главным образом оценивается фактическое наличие инструкций и документации (36).

Аккредитация — это процедура, путем которой полномочный орган официально признает, что лаборатория компетентна для выполнения конкретных задач, например для количественного определения содержания свинца в краске. В этом случае лабораторию инспектируют представители аккредитационного органа, которые, помимо поиска свидетельств соблюдения стандартов, политик, процедур, требований и нормативных актов, также оценивают и компетентность сотрудников, наблюдая за их работой. Орган аккредитации также может указывать, каким стандартам должна удовлетворять лаборатория (36). Примером стандарта аккредитации может служить стандарт ISO/IEC 17025 (37). В Соединенных Штатах Америки участие в ELPAT — это необходимое предварительное условие для получения аккредитации по программе аккредитации лабораторий по определению содержания свинца в окружающей среде (ELLAP).

## 7. Выводы

Содержащая свинец краска — важный источник воздействия свинца; в частности, на детей и рабочих. Все краски необходимого цвета и свойств могут быть изготовлены без использования свинцовых добавок; это тот вид воздействия, который можно предотвратить. Однако, даже если в стране запрещено использование красок, содержащих свинец, в зданиях и сооружениях может сохраняться старая краска, которая годами может служить источником воздействия.

Основная мера, которая позволяет предотвратить воздействие свинца, подразумевает введение юридически обязывающих мер контроля, то есть законов, нормативных актов или стандартов, предотвращающих использование ингредиентов на основе свинца в новых красках. В тех странах, где содержащая свинец краска уже использовалась для окрашивания зданий и сооружений, также должны применяться соответствующие меры по управлению рисками, например устранение такого рода красочных покрытий. Для достижения как первичных, так и вторичных профилактических целей нужны способы определения содержания свинца в красках.

Данная брошюра описывает наиболее распространенные методы измерения содержания свинца в краске, как в лаборатории, так и *in situ*, то есть там, где содержащая свинец краска была использована. Для этого имеется ряд различных методов, подразумевающих разный уровень затрат и разную сложность, и органы общественного здравоохранения, экологические организации и т. п. должны выбрать те из них, которые в наибольшей мере отвечают их потребностям.



## 8. Список использованной литературы

1. GBD Compare. Global deaths and DALYs attributable to lead exposure. Seattle: Institute for Health Metrics and Evaluation, University of Washington; 2018 (<http://vizhub.healthdata.org/gbd-compare>, accessed 30 March 2020).
2. Reuben A, Caspi A, Belsky DW, Broadbent J, Harrington H, Sugden K et al. Association of childhood blood lead levels with cognitive function and socioeconomic status at age 38 years and with IQ change and socioeconomic mobility between childhood and adulthood. *JAMA*. 2017; 317(12):1244–1251. doi:10.1001/jama.2017.1712.
3. Global Health Observatory (GHO) data. Legislation: regulations and controls on lead paint. Geneva: World Health Organization; 2019 ([https://www.who.int/gho/phe/chemical\\_safety/lead\\_paint\\_regulations/en/](https://www.who.int/gho/phe/chemical_safety/lead_paint_regulations/en/), accessed 30 March 2020).
4. 2019 update on the global status of legal limits on lead in paint. Nairobi: United Nations Environment Programme; 2019 (<https://www.unenvironment.org/resources/report/2019-update-global-status-legal-limits-lead-paint>, accessed 30 March 2020).
5. American Healthy Homes Survey: lead and arsenic findings. Washington (DC): United States Department of Housing and Urban Development; 2011 ([https://www.hud.gov/sites/documents/AHHS\\_REPORT.PDF](https://www.hud.gov/sites/documents/AHHS_REPORT.PDF), accessed 6 April 2020).
6. Guidelines for the evaluation and control of lead-based paint hazards in housing. Washington (DC): United States Department of Housing and Urban Development; 2012. Chapter 7 and Appendix 13.2 ([https://www.hud.gov/program\\_offices/healthy\\_homes/lbp/hudguidelines](https://www.hud.gov/program_offices/healthy_homes/lbp/hudguidelines), accessed 6 April 2020).
7. Dixon SL, Gaitens JM, Jacobs DE, Strauss W, Nagaraja J, Pivetz T et al. Exposure of U.S. children to residential dust lead, 1999–2004: II. The contribution of lead-contaminated dust to children's blood lead levels. *Environ Health Perspect*. 2009; 117(3):468–74. doi: 10.1289/ehp.11918.
8. Childhood lead poisoning. Geneva: World Health Organization; 2010 (<https://apps.who.int/iris/handle/10665/136571>, accessed 30 March 2020).
9. Model law and guidance for regulating lead paint. Nairobi: United Nations Environment Programme; 2018 (<https://www.unenvironment.org/resources/publication/model-law-and-guidance-regulating-lead-paint>, accessed 30 March 2020).
10. Le Bot B, Arcelin C, Briand E, Glorennec P. Sequential digestion for measuring leachable and total lead in the same sample of dust or paint chips by ICP-MS, *J Environ Sci Health, Part A*. 2011; 46(1):63–69. doi:10.1080/10934529.2011.526902.
11. Soluble and total lead content of solvent-based paints for home use in China. Stockholm: International Pollutants Elimination Network; 2017 ([http://ipen.org/sites/default/files/documents/ipen-china-lead-report-v1\\_3-en.pdf](http://ipen.org/sites/default/files/documents/ipen-china-lead-report-v1_3-en.pdf), accessed 30 March 2020).

12. Deshommes E, Tardif R, Edwards M, Sauvé S, Prévost M. Experimental determination of the oral bioavailability and bioaccessibility of lead particles. *Chemistry Central Journal*. 2012; 6: 138. doi.org/10.1186/1752-153X-6-138
13. Test method: CPSC-CH-E1003-09.1: Standard operating procedure for determining lead (Pb) in paint and other similar surface coatings. Gaithersburg (MD): United States Consumer Product Safety Commission; 2011 ([https://www.cpsc.gov/s3fs-public/pdfs/blk\\_pdf\\_CPSC-CH-E1003-09\\_1.pdf](https://www.cpsc.gov/s3fs-public/pdfs/blk_pdf_CPSC-CH-E1003-09_1.pdf), accessed 30 March 2020).
14. Standard practice for field collection of dried paint samples for subsequent lead determination. ASTM E1729-16. West Conshohocken (PA): ASTM International; 2016.
15. Diagnostique plomb: protocole de réalisation du constat de risque d'exposition au plomb [Lead diagnostic: protocol for carrying out risk assessment of lead exposure]. NF X46–030: 2008–4. La Plaine Saint-Denis: l'Association Française de Normalisation; 2008.
16. Détection du plomb dans les peintures anciennes [Detection of lead in old paint]. Maisons-Alfort: Agence française de sécurité sanitaire environnementale; 2005 (<https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2004et5091Ra.pdf>, accessed 30 March 2020)
17. Pb-based paint laboratory operations guidelines: analysis of Pb in paint, dust, and soil. Revision 1.0, EPA 747-R-92-006, May 1993. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics; 1993 (<https://www.epa.gov/lead/pb-based-paint-laboratory-operations-guidelines-analysis-pb-paint-dust-and-soil-revision-10-epa>, accessed 30 March 2020).
18. Standard practice for preparation of dried paint samples by hotplate or microwave digestion for subsequent lead analysis. ASTM E1645-16. West Conshohocken (PA): ASTM International; 2016.
19. Standard test method for determination of lead by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES), flame atomic absorption spectrometry (FAAS), or graphite furnace atomic absorption spectrometry (GFAAS) techniques. ASTM E1613-12. West Conshohocken (PA): ASTM International; 2004.
20. Flanagan RJ, Taylor A, Watson ID, Whelpton R. *Fundamentals of analytical toxicology*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd; 2007: 281–301.
21. ISO 6503:1984. Paints and varnishes – determination of total lead – flame atomic absorption spectrometric method. Geneva: International Organization for Standardization; 1984 (<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:12880:en>, accessed 30 March 2020).
22. Schmehl RL, Cox DC, Dewalt FG. Lead-based paint testing technologies: summary of an EPA/ HUD field study. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1999;60:444–451.

23. Cobb D. Study on the effectiveness, precision, and reliability of X-ray fluorescence spectrometry and other alternative methods for measuring lead in paint. Gaithersburg (MD): United States Consumer Product Safety Commission; 2009 (<https://www.cpsc.gov/s3fs-public/pdfs/leadinpaintmeasure.pdf>, accessed 30 March 2020).
24. Gibson WM, Chen ZW, Danhong L. High-definition X-ray fluorescence: applications. X-ray Optics and Instrumentation. 2008; Article ID 709692. doi:10.1155/2008/709692.
25. Cobb D. Update on use of X-ray fluorescence spectrometry for measuring lead in paint. Gaithersburg (MD): United States Consumer Product Safety Commission; 2010.
26. Standard test method for determination of lead in paint layers and similar coatings or in substrates and homogenous materials by energy dispersive X-ray fluorescence spectrometry using multiple monochromatic excitation beams. ASTM F2853-10. West Conshohocken (PA): ASTM International; 2015.
27. Analysing liquids using XRF sample cups and films. FXBA-0032-01. Bedburg-Hau: Fluxana; 2019 ([https://fluxana.com/images/Whitepaper/PDF/Whitepaper\\_Analyzing\\_Liquids\\_using\\_XRF\\_sample\\_cups\\_and\\_films.pdf](https://fluxana.com/images/Whitepaper/PDF/Whitepaper_Analyzing_Liquids_using_XRF_sample_cups_and_films.pdf), accessed 30 March 2020).
28. The U.S. Consumer Product Safety Commission approves new test method for detection of lead in paint. Business Wire, 31 March 2011 (<https://www.businesswire.com/news/home/20110331006041/en/U.S.-Consumer-Product-Safety-Commission-Approves-New>, accessed 30 March 2020).
29. ETV verification statement. Qualitative spot test kit: lead-based paint detection — lead-in-paint test kit. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency; 2010 (<https://archive.epa.gov/nrmrl/archive-etv/web/pdf/p100elky.pdf>, accessed 30 March 2020).
30. ETV verification statement. Qualitative spot test kit: lead-based paint detection — LeadPaintCheck. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency; 2010 (<https://archive.epa.gov/nrmrl/archive-etv/web/pdf/p100elna.pdf>, accessed 30 March 2020).
31. Performance characteristics of qualitative spot test kits for lead in paint (completed 2010). [website] Washington (DC): United States Environmental Protection Agency, Environmental Technology Verification Program; 2019 (<https://archive.epa.gov/nrmrl/archive-etv/web/html/este.html#pcqstklp>, accessed 3 April 2020).
32. Rossiter WJ, Vangel MG, McKnight ME, Dewalt G. Spot test kits for detecting lead in household paint: a laboratory evaluation. NISTIR 6398. Gaithersburg (MD): National Institute of Standards and Technology; 2000 ([https://tsapps.nist.gov/publication/get\\_pdf.cfm?pub\\_id=860223](https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=860223), accessed 3 April 2020).
33. National Lead Laboratory Accreditation Program: Laboratory quality system requirements, Revision 3.0. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics; 2007 (<https://www.epa.gov/lead/national-lead-laboratory-accreditation-program-laboratory-quality-system-requirements-revision>, accessed 3 April 2020).

34. ELPAT frequently asked questions. Falls Church (VA): American Industrial Hygiene Association; 2019 (<https://www.aihapat.org/programs/environmental-lead-proficiency-analytical-testing-elpat-program/elpat-faqs>, accessed 3 April 2020).
35. List of CPSC-accepted testing laboratories. United States Consumer Product Safety Commission (<https://www.cpsc.gov/cgi-bin/labsearch/>, accessed 3 April 2020).
36. Laboratory quality management system: handbook, version 1.1. Geneva: World Health Organization; 2011 (<https://apps.who.int/iris/handle/10665/44665>, accessed 3 April 2020).
37. ISO/IEC 17025: General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Geneva: International Organization for Standardization; 2017 (<https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/store/en/PUB100424.pdf>, accessed 6 April 2020).

# Приложение

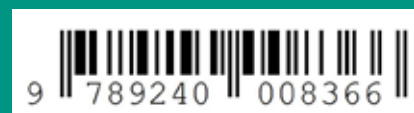
## Международные стандарты и методы сбора образцов, их подготовки и анализа на содержание свинца в краске

Процедура	Название стандарта
Международные стандарты отбора образцов	ASTM E1729-16. Стандартная практика отбора образцов высушенной краски в полевых условиях с целью последующего определения содержания свинца.
	ISO 15528:2013. Материалы лакокрасочные и сырье для них. Отбор проб (на русском, французском и английском языках)
Международные стандарты подготовки образцов	ISO 1513:2010. Материалы лакокрасочные. Подготовка образцов для проведения испытаний (на русском, французском и английском языках)
	ASTM E1645-16. Стандартная практика подготовки образцов высушенной краски разложением на плитке или в микроволновой печи для последующего анализа на содержание свинца
	ASTM E1979-17. Стандартная практика ультразвуковой экстракции проб краски, пыли, почвы и воздуха для последующего определения содержания свинца.
Международные стандарты методов испытаний	ISO 6503:1984. Краски и лаки. Определение общей массовой доли свинца. Метод пламенной атомно-абсорбционной спектроскопии (для измерения содержания свинца в диапазоне от 0,01% до 2,0%) (на английском и французском языках)
	ASTM D3335-85a (2014). Стандартный метод испытаний для определения низких концентраций свинца, кадмия и кобальта в краске методом атомно-абсорбционной спектроскопии (для измерения концентрации свинца в диапазоне от 0,01 до 5,0%)
	ASTM E1613-12. Стандартный метод испытаний для определения содержания свинца методами атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ИКП-АЭС), атомно-адсорбционной спектроскопии пламени (ПААС) или атомно-адсорбционной спектроскопии с применением графитовой печи (ГПААС).
	ASTM F2853-10 (2015). Стандартный метод испытаний для определения содержания свинца в красочных слоях или сходных покрытиях или в субстратах и гомогенных материалах методом энергодисперсионной рентгеновской флуоресцентной спектроскопии с применением многочисленных монохроматических пучков возбуждения.

Стандарты ISO можно найти на сайте <https://www.iso.org>

Стандарты ASTM можно найти на сайте <https://www.astm.org>

Для дополнительной информации обращайтесь по адресу:  
Департамент окружающей среды, климатических  
изменений и здравоохранения (ЕСН)  
Всемирная организация здравоохранения  
20 Avenue Appia  
CH-1211 Geneva 27  
Швейцария  
Адрес электронной почты: [ipcsmail@who.int](mailto:ipcsmail@who.int)



Всемирная организация  
здравоохранения



Глобальный фонд по окружающей среде  
Инвестиции в нашу планету