

Потапова И.А., Федотова И.В., Черникова Е.Ф., Умнягина И.А., Калачева Е.С.,
Жаркова Е.М., Мельникова А.А., Моисеева Е.В.

Обоснование нового метода количественного определения ацетата натрия в воздухе для гигиенического мониторинга рабочей среды

ФБУ «Нижегородский научно-исследовательский институт гигиены и профпатологии» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 603950, Нижний Новгород, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Ацетат натрия (АН) широко используется в различных областях промышленности и сельского хозяйства. Содержание этого вещества регламентировано в зоне дыхания работающих. Задачей настоящего исследования стала разработка доступной и надёжной методики контроля ацетата натрия в воздухе рабочей зоны.

Материалы и методы. При разработке методики была изучена и обоснована возможность применения метода капиллярной газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектированием. В основу количественного анализа АН были положены реакции его предварительного превращения в метиловый эфир уксусной кислоты. Образовавшийся эфир анализировали хроматографически с применением капиллярной колонки с высокополярной неподвижной фазой в режиме программирования температур.

Результаты. Разработанный алгоритм предполагает улавливание АН на фильтр из поливинилхлорида; извлечение АН дистиллированной водой; последовательное превращение АН в уксусную кислоту и её метиловый эфир под действием раствора серной кислоты в метаноле; экстракцию продукта реакций гексан-эфирной смесью и газохроматографический анализ. При метрологической аттестации была доказана специфичность методики в отношении АН, установлены показатели повторяемости (3,3%), воспроизводимости (4,3%), правильности (19%) и точности (21%). Методика прошла метрологическую экспертизу на базе ФБУ «Нижегородский ЦСМ» и была аттестована в лабораторном помещении в условиях искусственно созданной запылённости. Подтверждена возможность определения АН в воздухе в диапазоне концентраций от 2 до 50 мг/м³ с погрешностью не более 25%, то есть методика удовлетворяет требованиям Государственной системы обеспечения единства измерений.

Ограничения исследования. В основе методики лежат реакции превращения ацетат-ионов, поэтому определению ацетата натрия могут препятствовать любые растворимые соли уксусной кислоты.

Заключение. Разработанная методика является специфичной, нетрудоёмкой, чувствительной и может быть рекомендована для внедрения в практику организаций, осуществляющих исследования в области оценки качества воздуха рабочей зоны, создания безопасных условий труда и оценки профессионального риска.

Ключевые слова: ацетат натрия; воздух рабочей зоны; капиллярная газовая хроматография; количественный химический анализ; гигиенический мониторинг

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Потапова И.А., Федотова И.В., Черникова Е.Ф., Умнягина И.А., Калачева Е.С., Жаркова Е.М., Мельникова А.А., Моисеева Е.В. Обоснование нового метода количественного определения ацетата натрия в воздухе для гигиенического мониторинга рабочей среды. Гигиена и санитария. 2025; 104(2): 239–246. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-2-239-246> <https://elibrary.ru/Ixtbbd>

Для корреспонденции: Потапова Ирина Александровна, e-mail: yes-ia@mail.ru

Участие авторов: Потапова И.А. – концепция и дизайн исследования, статистический анализ, написание текста; Федотова И.В., Черникова Е.Ф. – редактирование текста; Умнягина И.А. – утверждение окончательного варианта статьи; Калачева Е.С., Жаркова Е.М., Мельникова А.А., Моисеева Е.В. – сбор и обработка данных. Все соавторы – ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки.

Поступила: 24.04.2024 / Поступила после доработки: 07.05.2024 / Принята к печати: 19.06.2024 / Опубликована: 07.03.2025

Irina A. Potapova, Irina V. Fedotova, Ekaterina F. Chernikova, Irina A. Umnyagina,
Ekaterina S. Kalacheva, Elena M. Zharkova, Anna A. Melnikova, Evgeniya V. Moiseeva

Justification of a new method for the quantitative determination of sodium acetate in air for hygienic monitoring of the working environment

Nizhny Novgorod Scientific Research Institute for Hygiene and Occupational Pathology, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. There is proposed a method for monitoring sodium acetate (SA) in the air of the working area, which is widely used in various industries in the absence of a method for its determination.

Materials and methods. In the process of developing the technique, the possibility of using the capillary gas chromatography method with flame ionization detection was studied and justified. The quantitative analysis of SA was based on the reactions of its preliminary transformation into acetic acid methyl ester. The resulting ether was analyzed chromatographically using a capillary column with a high-polar stationary phase in temperature programming mode.

Results. The developed algorithm includes the capture of SA onto a polyvinyl chloride filter; the extraction of SA with distilled water; the sequential conversion of SA into acetic acid and its methyl ester under the action of a solution of sulfuric acid in methanol; extraction of the reaction product with a hexane-ether mixture and gas chromatographic analysis. In the process of metrological certification of the methodology, its specificity in relation to SA was proved, the indicators of

repeatability (3.3%), reproducibility (4.3%), correctness (19%), and accuracy (21%) were established. The technique passed a metrological examination on the base of the Nizhny Novgorod Center for standardization, metrology, and testing and was tested in a laboratory room in conditions of artificially created dustiness. It allows the detecting of SA in the air in the concentration range from 2 to 50 mg/m³ with SA error of no more than 25%, i.e. it meets the requirements of the State System for Ensuring the Uniformity of Measurements.

Limitations. Since the method is based on acetate ion conversion reactions, any soluble salts of acetic acid can interfere with the determination of sodium acetate. **Conclusion.** The developed methodology is specific, quite expressive, sensitive and can be recommended for implementation in the practice of institutions conducting research in the field of assessing the air quality of the work area, creating safe working conditions, and assessing occupational risk.

Keywords: sodium acetate; working area air; capillary gas chromatography; quantitative chemical analysis; hygienic monitoring

Compliance with ethical standards. The study does not require the submission of the conclusion of the biomedical ethics committee or other documents.

For citation: Potapova I.A., Fedotova I.V., Chernikova E.F., Umnyagina I.A., Kalacheva E.S., Zharkova E.M., Mel'nikova A.A., Moiseeva E.V. Justification of a new method for the quantitative determination of sodium acetate in air for hygienic monitoring of the working environment. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2025; 104(2): 239–246. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-2-239-246> <https://elibrary.ru/1xtbbd> (In Russ.)

For correspondence: Irina A. Potapova, e-mail: yes-is@mail.ru

Contribution: Potapova I.A. – research concept and design, statistical analysis, text writing; Fedotova I.V., Chernikova E.F. – text editing; Umnyagina I.A. – approval of the final version of the article; Kalacheva E.S., Zharkova E.M., Mel'nikova A.A., Moiseeva E.V. – data collection and processing. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

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

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: April 24, 2024 / Revised: May 7, 2024 / Accepted: June 19, 2024 / Published: March 7, 2025

Введение

Одним из приоритетных направлений государственной политики Российской Федерации является сохранение кадрового потенциала страны, обеспечивающего её устойчивый экономический рост и суверенитет [1]. Реализация комплексных мер по оценке и управлению риском для здоровья работников невозможна без совершенствования системы мониторинга вредных производственных факторов. Недооценка риска и преуменьшение опасности могут привести к существенным экономическим потерям [2].

Необходимость разработки современных методов идентификации вредных химических веществ с целью мониторинга закреплена Указом Президента Российской Федерации от 11.03.2019 г. № 97 «Об Основах государственной политики Российской Федерации в области обеспечения химической и биологической безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу», одним из ключевых в системе государственного управления национальной безопасностью России¹ [3]. Во исполнение этого документа в середине 2021 г. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека была организована работа по оценке методической базы, обеспечивающей контроль гигиенических нормативов, установленных в санитарных правилах и нормах СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»². Ацетат натрия (АН) вошёл в перечень химических веществ, не охваченных методами аналитического контроля. Приоритетность разработки методики его контроля была признана средней, срок выполнения установлен Планом разработки (пересмотра) методических документов Роспотребнадзора на 2023–2025 гг.

Ацетат натрия – гигроскопичный кристаллический порошок белого, светло-жёлтого, коричневого цвета, со сладким солёным вкусом и запахом уксуса. АН хорошо растворим в воде, плохо – в спирте, ацетоне, эфире; диссоциирует в воде с образованием катиона натрия и аниона уксусной

¹ Об Основах государственной политики Российской Федерации в области обеспечения химической и биологической безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу: Указ Президента РФ от 11 марта 2019 г. № 97. ГАРАНТ: информационно-правовое обеспечение. Доступно: <https://base.garant.ru/72192478/?ysclid=lus7t9p752909536959> (ссылка активна на 26.03.2024 г.).

² Об утверждении санитарных правил и норм 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»: Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 г. № 2 с изменениями и дополнениями от 30 декабря 2022 г. ГАРАНТ: информационно-правовое обеспечение. Доступно: <https://ivo.garant.ru/400274954/> (ссылка активна на 26.03.2024 г.).

кислоты (УК); проявляет химические свойства средних солей; в воде является слабым основанием; разлагается при нагревании и контакте с сильными кислотами с образованием УК; бурно реагирует с сильными окислителями^{3,4} [4].

АН применяется в производстве красителей, мыл, уксусного ангидрида, ацетилхлорида, винилацетата⁴; используется в качестве проправы при крашении тканей, в составе консервирующих добавок к продуктам питания, пищевых добавок в сельскохозяйственной промышленности, обеззараживающего средства в медицине, для улучшения эксплуатационных характеристик современных материалов – потенциальных экологически чистых композитов, которые в будущем призваны уменьшить или заменить синтетические волокна и полимеры [4–10]. Широкая сфера применения ацетата натрия обусловливает его присутствие в зоне дыхания работников различных профессиональных групп.

В воздушной среде АН находится в виде аэрозольных частиц. Он относится к малоопасным веществам (4-й класс опасности). Вероятно, по этой причине контролю АН в воздухе рабочей зоны не уделяли должного внимания. Следует учитывать, что АН обладает токсическим эффектом: оказывает раздражающее действие на органы дыхания при ингаляционном поступлении, вызывая кашель, боли в горле и груди, одышку, приводит к покраснению кожных покровов и слизистых оболочек [4]. Таким образом, описанные эффекты АН определяют необходимость разработки методики его количественного определения в воздухе рабочей зоны, позволяющей осуществлять контроль соответствия гигиеническим нормативам (ПДК – 10 мг/м³)².

На основании литературных данных установлено, что количественный анализ АН, как правило, осуществляется в химических реактивах, пищевых добавках, водных растворах^{5,6} и биологических жидкостях организма [11–14]. В основе описанных методик лежат методы титриметрии и газовой хроматографии.

В методах прямого титрования в качестве титрантов используются растворы сильных кислот, в результате взаимодействия с которыми происходит образование из АН слабой уксусной кислоты, изменение pH-среды фиксируется визуально с применением индикаторов или потенциометрически^{5,6} [11]. В методах косвенного титрования АН предвари-

³ Химический энциклопедический словарь. Гл. ред. И.Л. Куняянц. М.: Советская энциклопедия; 1983. С. 361.

⁴ Краткая химическая энциклопедия. Т. 1. Под ред. И.Л. Куняянц. М.: Советская энциклопедия; 1961. С. 342–343.

⁵ ГОСТ 17444–2016 Реактивы. Методы определения основного вещества азотсодержащих органических соединений и солей органических кислот.

⁶ ГОСТ Р 54626–2011. Добавки пищевые. Натрия ацетаты Е262. Общие технические условия.

тельно переводят в УК, количество которой затем оценивают с помощью раствора щёлочи также визуально либо с применением потенциометрии⁷ [12]. Титриметрические методы определения АН являются технически простыми в исполнении и легко реализуемыми на практике. Они лежат в основе утверждённых нормативно-методических документов, регламентирующих процедуру анализа АН в реактивах и пищевых добавках^{5,6}, однако не могут применяться при исследовании воздушной среды. Это обусловлено в первую очередь широким диапазоном возможных концентраций вещества в воздухе, в результате чего титрование уловленного из воздуха и переведённого в раствор АН может занимать не один час рабочего времени.

Газовая хроматография (ГХ) в данном случае предпочтительна, поскольку время исследования лимитируется процедурой пробоподготовки и самим анализом, а не зависит от концентрации определяемого компонента в образце. ГХ-определению АН, как и в случае титриметрии, предшествует его превращение в УК [13, 14].

Цель исследования – разработка способа количественного определения ацетата натрия в воздухе рабочей зоны методом капиллярной газовой хроматографии для гигиенического мониторинга рабочей среды.

Материалы и методы

Реактивы. Натрий уксуснокислый 3-водный (ацетат натрия) (ГОСТ 199. Квалификация «ч.д.а.»); уксусная кислота (ГОСТ 61. Ледяная, квалификация «х.ч.»); метанол (ГОСТ 6995. Квалификация «х.ч.»); серная кислота (ГОСТ 14262. Квалификация «ос.ч.»); гексан (ТУ 2631–001–54260861. Для хроматографии, нормализованный. Квалификация «ос.ч.»); эфир диэтиловый (ТУ 2600–001–45682126. Квалификация «х.ч.»); вода дистиллированная (ГОСТ Р 58144); натрий хлористый (хлорид натрия) (ГОСТ 4233. Квалификация «ч.д.а.»); кальций хлористый (ГОСТ 450. Высший сорт)⁸. Азот газообразный в баллонах (ГОСТ 9293); водород технический в баллонах (ГОСТ 3022)⁹.

Для улавливания АН из воздуха с одновременным концентрированием применяли фильтры, не имеющие в составе ацетатных групп, – «Красная лента», «Синяя лента» и АФА-ХП.

Оборудование. Газово-хроматографический комплекс «Хромос ГХ-1000», снабжённый пламенно-ионизационным детектором и капиллярной колонкой с неподвижной фазой – полиэтиленгликоль, модифицированный нитротерефталевой кислотой (50 м × 0,32 мм × 0,5 мкм). Пробоотборное устройство ПА-300М-2, оснащённое пробоотборными штангами с фильтродержателями ИРА-10 (или ИРА-20) и обеспечивающее расход воздуха 100 дм³/мин с допускаемой относительной погрешностью измерения расхода воздуха не более ± 5% при расходе воздуха 100 дм³/мин. Весы лабораторные специального класса точности ВР 221S с погрешностью взвешивания ± 0,2 мг. Лабораторный встраиватель Вортекс V-3 (скорость перемешивания жидкостей в пробирках до 2500–3000 об./мин). Низкотемпературная лабораторная электропечь Snol 67/375. Компрессор воздушный с ремённым приводом FINI MK 103-90-3M.

Объект исследования. Информационно-аналитический поиск отечественной и зарубежной литературы по существующим методам количественного анализа АН проводили в срезе более 50 лет.

⁷ Эшворт М.Р.Ф. Титриметрические методы анализа органических соединений. Часть II. Методы косвенного титрования. М.: Химия; 1972. С. 848.

⁸ ГОСТ 199 Натрий уксуснокислый 3-водный. Технические условия; ГОСТ 61 «Реактивы. Кислота уксусная. Технические условия»; ГОСТ 6995 Реактивы. Метанол-яд. Технические условия; ГОСТ 14262 Кислота серная особой чистоты. Технические условия; ГОСТ Р 58144 Вода дистиллированная. Технические условия; ГОСТ 4233 Реактивы. Натрий хлористый. Технические условия; ГОСТ 450 Кальций хлористый технический. Технические условия.

⁹ ГОСТ 9293 Азот газообразный и жидккий. Технические условия; ГОСТ 3022 Водород технический. Технические условия.

При разработке методики использовали водные растворы УК и ацетата натрия с заданной концентрацией компонентов, а также контрольные образцы – точные навески ацетата натрия на аналитических фильтрах.

Подготовка проб. Подготовку водных растворов УК осуществляли следующим образом: раствор объёмом 1 см³ помещали в стеклянные флаконы вместимостью 10 см³, вносили по 5 см³ метанола, подкислённого концентрированной серной кислотой (три массовых процента); помещали в металлический патрон с завинчивающейся крышкой; тщательно встряхивали и выдерживали при температуре плюс 80 °C в течение 40 мин. Далее полученный эфир извлекали смесью гексана с эфиром (1 : 1): к остывшему раствору приливали 1 см³ экстрагента, смесь интенсивно встряхивали в течение 5 мин, добавляли 1 см³ раствора хлористого натрия с массовой концентрацией 1% для более чёткого разделения фаз и далее 5 мин выставивали в холодильной камере при температуре плюс 2–6 °C. Верхний слой отделяли в пробирки типа Эппendorф и анализировали в тот же день.

Водные растворы АН предварительно высушивали: 1 см³ раствора помещали в стеклянные флаконы вместимостью 10 см³ и нагревали при температуре плюс 150 °C в камере электропечи. Далее проводили дериватизацию и экстракцию описанным выше способом.

Подготовку проб воздуха, отобранных на аналитические фильтры (диаметр соответствует диаметру фильтродержателя пробоотборного устройства), осуществляли следующим образом. Фильтр помещали в стеклянную пробирку вместимостью 5 см³, пипеткой приливали 3 см³ дистиллированной воды. С помощью стеклянной палочки фильтр аккуратно разворачивали, чтобы вся его поверхность контактировала с водой; перемешивали с помощью Вортекс V-3 со скоростью 2500–3000 об./мин не менее 30 с; раствор выставивали 15 мин, ещё раз перемешивали стеклянной палочкой; фильтр отжимали, не вынимая из раствора. Затем 1 см³ полученного раствора переносили в стеклянный флакон вместимостью 10 см³ и проводили дериватизацию и экстракцию продукта (МА).

Условия разделения и детектирования. Условия проведения хроматографического анализа были выбраны эмпирически. За основу брали физико-химические свойства продукта дериватизации ацетата натрия – метилового эфира уксусной кислоты (метиласетата, МА), учитывали проведённые ранее в лаборатории эксперименты по определению метиловых эфиров высших карбоновых кислот и данные литературы⁹ [15]. Оптимальным был следующий режим программирования температуры колонки. Начальную температуру плюс 40 °C выдерживали в течение 10 мин, далее с целью очистки системы от возможных примесей проводили нагревание системы (15 °C/мин) до температуры плюс 115 °C. Температуры детектора и испарителя составляли плюс 150 и плюс 200 °C соответственно. Исследование проводили при постоянном давлении газа-носителя (азота) на выходе из колонки – 1 кгс/см²; сбросе потока 23,5 см³/мин; скорости потока водорода и воздуха 25 и 250 см³/мин соответственно. Объём аликовты – 1 мм³. Ориентировочное время выхода метилового эфира уксусной кислоты составило 6,35 мин, общее время анализа – 20 мин (рис. 1).

Расчёты и обработка результатов. Массовую концентрацию ацетата натрия в пробе воздуха рассчитывали по формуле (1):

$$C = \frac{m \cdot V_p}{V_{an} \cdot V}, \quad (1)$$

где C – массовая концентрация АН в пробе воздуха, мг/м³; m – масса АН в анализируемом растворе, найденная по градуировочному графику, мг; V_p – общий объём раствора АН, равный 3 см³; V_{an} – объём анализируемого раствора АН, отобранный на получение экстракта и равный 1 см³; V – объём отобранных воздуха, м³, приведённый к стандартным условиям ($P_{atm} = 760$ мм рт. ст. (101,33 кПа); $t = 20$ °C).

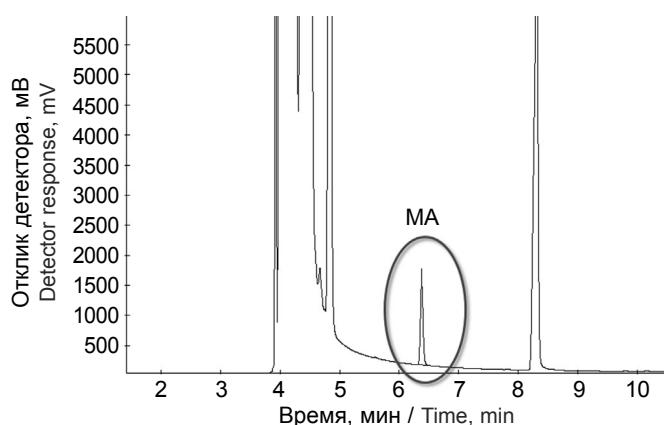


Рис. 1. Пример хроматограммы, полученной при анализе экстракта метилацетата (МА).

Fig. 1. An example of a chromatogram obtained by analyzing an extract of methyl acetate (MA).

Полученные данные анализировали с помощью программного обеспечения газохроматографического комплекса, обрабатывали с использованием традиционных методов вариационной статистики в программах Microsoft Excel 2010 и Statistica 10.0. Достоверность различий средних значений оценивали с помощью критерия Манна – Уитни.

Результаты

Изучение литературы показало, что уже в самых ранних исследованиях, посвящённых анализу АН, была отмечена реакция предварительного превращения АН в УК – неотъемлемый этап анализа данной соли в матрицах сложного состава [16]. При этом извлечение целевого компонента является достаточно полным, а коэффициент вариации низким даже при концентрациях на уровне 0,01 ммол/л [13]. ГХ-анализ короткоцепочечных жирных кислот чаще всего осуществляется после предварительной дериватизации, продуктами которой выступают эфиры [17–19]. С учётом этих данных за основу методики газохроматографического определения АН была принята реакция последовательного превращения в УК, а затем в метиловый эфир уксусной кислоты (метилацетат: MA):

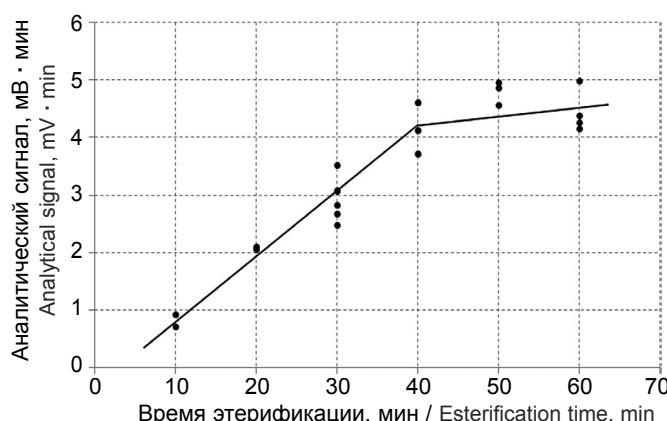
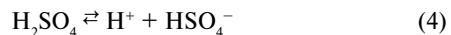


Рис. 2. Зависимость полноты реакции от времени этерификации.

Fig. 2. Dependence of the completeness of the reaction on the esterification time.

Протекание реакции (2) возможно под действием кислоты, более сильной по сравнению с уксусной, например, серной. Реакция этерификации (3) протекает при длительном нагревании реагентов в инертных растворителях в присутствии кислых катализаторов [20]. Чаще всего катализатором при этерификации служит концентрированная серная кислота. Катализатор является источником протонов – катионов водорода H^+ , которые образуются при автопротолизе [21]:



Образующиеся катионы водорода на первом этапе вступают в реакцию (2), а на втором – катализируют процесс (3).

Для ГХ-анализа эфиров короткоцепочечных жирных кислот наиболее широко используются пламенно-ионизационное детектирование и капиллярные колонки на основе высокополярных неподвижных фаз¹⁰ [15, 17–19]. В связи с этим в качестве аналитической была выбрана капиллярная колонка на основе полиэтиленгликоля, модифицированного нитротерефталевой кислотой (50 м \times 0,32 мм \times 0,5 мкм).

Разработка методики включала следующие этапы: изучение полноты реакций превращения целевого компонента при различных условиях, выбор экстрагента и оптимальных параметров аналитической системы, обоснование способа улавливания аэрозольных частиц АН, метрологическую аттестацию и апробацию.

Экспериментальное обоснование условий целевой реакции этерификации проводили с использованием раствора УК с концентрацией 1,38 мг/см³. Этерификацию кислоты выполняли при температуре плюс 80 °С в течение 10; 20; 30; 40; 50 и 60 мин. Как видно из рис. 2, оптимальное время термостатирования реакционной смеси – 40 мин. Более длительное нагревание не приводило к увеличению выхода реакции: площади хроматографических пиков после 40- и 60-минутной этерификации отличались не более чем на 6,5%, в то время как после 30- и 60-минутной этерификации – на 33,6% ($p = 0,0142$).

Уточнение концентрации серной кислоты в метаноле, достаточной для проведения процесса этерификации УК, осуществляли эмпирически, используя растворы с массовыми концентрациями 1,5; 3 и 5%. Установлено, что для проведения целевой реакции достаточной является концентрация 3%. При её снижении до 1,5% отклик аналитического сигнала уменьшался в среднем на 25,1% ($p = 0,0137$).

В качестве экстрагентов МА исследовали чистый гексан и смесь гексана и серного эфира в соотношении 1 : 1. Эффективность экстракции гексан-эфирной смесью в отношении метилацетата была на 65,1% выше, чем при использовании гексана в чистом виде: аналитический отклик сигнала составил $4,49 \pm 0,31$ против $2,75 \pm 0,16$ мВ · мин соответственно ($p = 0,0018$). В связи с этим в качестве экстрагента далее использовали смесь гексана с эфиром (1 : 1).

Для оценки степени превращения АН в УК, а затем в её метиловый эфир на первом этапе устанавливали градуировочную зависимость отклика аналитического сигнала эфира, полученного путём этерификации УК при выбранных ранее условиях. Далее эксперимент проводили с использованием раствора АН, масса которого соответствовала девятнадцатому превышению ПДК в ВРЗ в случае отбора 100 дм³ воздуха. После пробоподготовки раствора и анализа экстракта оценивали уровень УК, найденный по градуировочной зависи-

¹⁰ МР 01.022–07 Газохроматографическое определение ацетальдегида, ацетона, метилацетата, этилацетата, метанола, изо-пропанола, этанола, н-пропилацетата, н-пропанола, изо-бутилацетата, бутилацетата, изо-бутанола, н-бутанола, выделяющихся в воздушную среду из материалов различного состава. ГОСТ АССИСТЕНТ: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. Доступно: https://gostassistent.ru/doc/5faf9f79-b6a3-4cab-9255-89164488701d?ysclid=lus8p2592n505511917&utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F. Ссылка активна на 26.03.2024 г.

Таблица 1 / Table 1

Результаты оценки степени превращения ацетата натрия
The results of the assessment of the degree of conversion of sodium acetate

Масса ацетата натрия, мг Mass of sodium acetate, mg	Рассчитанное по уравнению реакции значение массы уксусной кислоты, мг The mass value of acetic acid calculated by the reaction equation, mg	Отклик аналитического сигнала, мВ · мин Response of the analytical signal, mV · min	Установленное по градуировочной зависимости значение массы уксусной кислоты, мг The value of acetic acid mass, mg, established according to the calibration dependence	Погрешность определения уксусной кислоты, % Error in the determination of acetic acid, %
3.0	2.2	5.615	2.09	4.7
		5.733	2.14	2.7
		6.061	2.26	2.9
		6.228	2.32	5.7
		5.713	2.13	3.0
		5.756	2.14	2.3

мости, и сравнивали его с рассчитанным стехиометрически значением (табл. 1).

Как видно из представленных данных, установленная по градуировочной зависимости масса УК ($2,18 \pm 0,07$ мг) достоверно не отличалась от рассчитанного стехиометрически значений. Погрешность не превышала 5,7%, то есть при проведении эксперимента в описанных условиях полнота целевых реакций превращения АН в УК, а затем в МА была выше 95%. Полученные результаты экспериментально подтверждают возможность использования предложенной цепочки превращений для последующего определения АН.

Минимальное значение массы АН для анализа оценивали расчёты путём: ориентировались на градуировочную зависимость отклика аналитического сигнала от массы уксусной кислоты и уравнение реакции превращения АН в УК. За нижнюю границу определяемых концентраций принимали массу уксусной кислоты 0,15 мг, которая соответствовала площади хроматографического пика $0,30 \pm 0,01$ мВ · мин, что в 23 раза превышало фоновый дрейф. Стехиометрически данное количество уксусной кислоты соответствует 0,2 мг ацетата натрия.

При разработке способа определения вещества диапазон контролируемых концентраций задавали таким образом, чтобы нижняя граница была в 5 раз ниже ПДК, а верхняя – в 5 раз выше, и диапазон измеряемых масс АН в анализируемом объёме пробы устанавливали на уровне 0,2–5 мг. Градуировочную характеристику устанавливали методом абсолютной градуировки по пяти растворам – с концентрацией 0,2; 0,4; 1; 2 и 5 мг/см³. Измерения проводили в семи повторностях. Полученная градуировочная зависимость представлена на рис. 3.

Для улавливания аэрозоля АН из воздуха применяли фильтры, не имеющие в составе ацетатных групп, – «Красная лента», «Синяя лента» и АФА-ХП. «Красная лента» и «Синяя лента» изготовлены на основе очищенной целлюлозы. Первые являются среднепористыми и характеризуются умеренной скоростью фильтрации; вторые – мелкапористыми с низкой скоростью фильтрации. Фильтры АФА-ХП изготавливаются на основе поливинилхлорида, предназначены для улавливания твёрдых и жидкых аэродисперсных примесей и последующего химического анализа этих примесей.

На фильтры наносили точную навеску ацетата натрия, фильтры складывали, помещали в стеклянные боксы для хранения. Количественное извлечение соли с поверхности фильтра осуществляли в дистиллированную воду. Минимальный достаточный объём растворителя, позволяющий провести количественное извлечение АН с фильтра, составил 3 см³. Поскольку фильтры на основе фильтровальной бумаги хорошо смачиваются водой, извлечение соли с их поверхности протекало быстрее. При использовании гидрофобных фильтров АФА-ХП процедуру проводили путём многократного прополаскивания фильтров стеклянной палочкой.

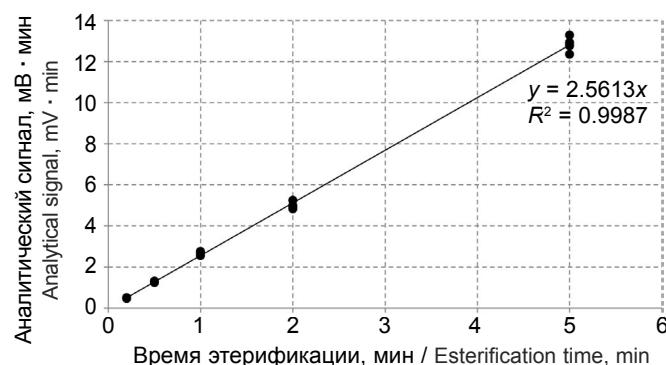


Рис. 3. Градуировочная зависимость отклика аналитического сигнала от содержания ацетата натрия в исходном растворе.

Fig. 3. Calibration dependence of the analytical signal response on the sodium acetate content in the initial solution.

Полученный раствор анализировали в соответствии с методикой. По результатам анализа оценивали уровень АН в исходном растворе и сравнивали его с внесённым на фильтр значением массы. Проведённые исследования позволили получить сопоставимую точность определения АН при использовании фильтров на основе целлюлозы и поливинилхлорида – в среднем 4,4% (0,5–13,3%) и 6,4% (0,7–9,9%) соответственно. В связи с этим выбор фильтра был детерминирован скоростью прокачивания воздуха. Так, «Синяя лента» с мелкапористой структурой позволяет проводить отбор воздуха не более 20 дм³/мин; «Красная лента» – со средней пористостью не более 40 дм³/мин; АФА-ХП – 100 дм³/мин. При минимально необходимом объёме ВРЗ для определения концентрации ацетата натрия на уровне 1/5 ПДК время отбора проб с использованием «Синей ленты» должно составлять 15 мин; «Красной ленты» – 7,5 мин; АФА-ХП – 3 мин.

Как правило, аспираторы воздуха имеют каналы с производительностью до 20 дм³/мин и от 60 дм³/мин и выше, то есть технически выполним отбор проб воздуха как на фильтры «Синяя лента» и «Красная лента» при скорости отбора 20 дм³/мин в течение 15 мин, так и на фильтры АФА-ХП – при скорости отбора 100 дм³/мин в течение 3 мин. Поскольку продолжительность технологических операций по засыпке сухого АН невысока, для оценки максимальных разовых концентраций предпочтительно проводить отбор за минимально короткий промежуток времени, то есть с применением фильтров АФА-ХП.

Метрологическую аттестацию методики выполняли с использованием контрольных растворов, образцов для оценивания и контроля. Образцами для оценивания служили водные растворы АН с заданной массовой концентрацией,

Таблица 2 / Table 2

Метрологические характеристики методики измерения массовой концентрации ацетата натрия в воздухе рабочей зоны при доверительной вероятности $p = 0,95$

Metrological characteristics of the method for measuring the mass concentration of sodium acetate in the air of the working area with a confidence probability of $p = 0.95$

Метрологические характеристики Metrological characteristics	Значения параметров Parameters values
Диапазон измерений, $\text{мг}/\text{м}^3$ Measuring range, mg/m^3	2–50
Показатель повторяемости, $\sigma_r, \%$ Repeatability index, $\sigma_r, \%$	3.3
Показатель воспроизводимости, $\sigma_R, \%$ Reproducibility index, $\sigma_R, \%$	4.3
Показатель правильности, $\pm \Delta_c, \%$ Accuracy index, $\pm \Delta_c, \%$	19.0
Предел повторяемости, $r, \%$ Repeatability limit, $r, \%$	9.2
Предел воспроизводимости, $R, \%$ Reproducibility limit, $R, \%$	12.0
Показатель точности, $\pm \Delta, \%$ Accuracy index, $\pm \Delta, \%$	21.0

образцами для контроля — точные навески компонента на фильтрах, обработанных в соответствии с прописью методики. Дополнительно использовали пробы искусственно созданных газовоздушных смесей в помещении лаборатории химико-аналитических исследований института. Погрешность измерения концентраций и её составляющие были определены на основе процедур контроля в соответствии с действующими нормативными документами¹¹.

При соблюдении всех регламентированных условий и проведении анализа АН в точном соответствии с разработанной методикой погрешность измерений и её составляющие при доверительной вероятности $p = 0,95$ не превышают значений, приведённых в табл. 2.

Апробацию разработанной методики проводили отбором проб воздуха лабораторного помещения в условиях искусственной запылённости. Для этого в лабораторном помещении площадью 25 м^2 при закрытых окнах и дверях путём многократного пересыпания сухой соли уксусно-кислого 3-водного натрия из одной ёмкости в другую моделировали производственные условия использования АН. Отбор проб осуществляли с помощью автоматического аспиратора ПА-02-2М: воздух со скоростью 100 $\text{дм}^3/\text{мин}$ прокачивали через фильтр АФА-ХП в течение 3 мин. Оценка содержания ацетата натрия осуществлялась по результатам анализа двух параллельных проб. В процессе апробации отобрано и проанализировано 20 проб газовоздушной смеси. Массовые концентрации АН в среднем находились в диапазоне 7,7–51,7 $\text{мг}/\text{м}^3$.

¹¹ ГОСТ Р 8.563–2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений; ГОСТ Р 8.736–2011 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения; ГОСТ Р ИСО 5725–1(1–6) – 6–2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Части 1, 2, 4, 5; РМГ 76–2014 Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Внутренний контроль качества результатов количественного химического анализа; РМГ 61–2010 Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Показатели точности, правильности, прецизионности методик количественного химического анализа. Методы оценки.

Обсуждение

Анализ литературных данных, в том числе результатов патентного поиска, показал, что в настоящее время отсутствуют методики количественного определения АН в воздушной среде. Ацетат натрия относится к малоопасным веществам (4-й класс опасности), вероятно, по этой причине контролю АН в воздухе рабочей зоны не уделяли должного внимания. Вместе с тем работники многих отраслей сталкиваются с технологическими операциями, предполагающими использование АН, следовательно, и с его эмиссией в зону дыхания.

Все известные методики контроля АН в продуктах, растворах, реагентах, биологических жидкостях организма, как титриметрические, так и газохроматографические, базируются на предварительном превращении данного соединения в УК. Ввиду значительной длительности титриметрического анализа при исследовании воздушной среды в качестве аналитического был выбран метод ГХ. За основу ГХ-определения АН в воздушной среде приняли реакции его последовательного превращения в УК, а затем метиловый эфир УК. В процессе разработки методики были установлены оптимальные условия для проведения целевых реакций, обоснованы способы улавливания АН из воздуха, а также параметры аналитической системы. Диапазон определяемых концентраций устанавливается на уровне 0,2–5 ПДК. Более высокие концентрации в силу кратковременности операций засыпки АН в реальных условиях маловероятны.

Установлено, что при соблюдении предложенных условий методики полнота протекающих реакций превышает 95%, а показатели её повторяемости (3,3%), воспроизводимости (4,3%), правильности (19%) и точности (21%) удовлетворяют требованиям Государственной системы обеспечения единства измерений.

В настоящее время методика прошла метрологическую экспертизу на базе ФБУ «Нижегородский ЦСМ» (свидетельство об аттестации № 9/01.00269-2013/2023 от 05.09.2023 г.), зарегистрирована в Федеральном реестре аттестованных методик (ФР.1.31.2023.47353) и апробирована в лабораторном помещении в условиях искусственно созданной запылённости. Апробация показала возможность практического использования методики для целей мониторинга содержания АН в воздухе. Она оформлена в виде проекта методических указаний и направлена в Федеральную службу по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека для рассмотрения и утверждения с целью дальнейшего практического применения в работе органов и организаций Роспотребнадзора, а также организаций, осуществляющих исследования в области качества и безопасности воздуха рабочей зоны, условий труда работающих.

Заключение

В результате проведённых исследований впервые разработана методика количественного определения ацетата натрия в воздухе рабочей зоны. Этапами её являются сквозной отбор проб воздуха на аналитические фильтры АФА-ХП, извлечение АН в дистиллированную воду, высушенение экстракта, проведение последовательного превращения АН в УК и МА, экстракция и газохроматографический анализ продукта реакции. Предложены и обоснованы условия проведения целевых реакций, способы отбора проб воздуха и пробоподготовки.

Разработанная методика является специфичной, нетрудоёмкой, чувствительной и может быть рекомендована для внедрения в практику организаций, осуществляющих исследования в области контроля качества воздуха рабочей зоны, создания безопасных условий труда и оценки профессионального риска.

Литература (п.п. 4, 6, 7, 9, 10, 13, 14, 16–18 см. References)

- Бухтияров И.В. Современное состояние и основные направления сохранения и укрепления здоровья работающего населения России. *Медицина труда и промышленная экология*. 2019; 59(9): 527–32. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-9-527-532> <https://elibrary.ru/htkrsy>
- Онищенко Г.Г. Актуальные проблемы и перспективы развития методологии анализа риска в условиях современных вызовов безопасности для здоровья населения Российской Федерации. *Анализ риска здороvью*. 2023; (4): 4–18. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.4.01> <https://elibrary.ru/ccjwaj>
- Зайцева Н.В., Попова А.Ю., Онищенко Г.Г., Май И.В. Актуальные проблемы правовой и научно-методической поддержки обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации как стратегической государственной задачи. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(1): 5–9. <https://elibrary.ru/vosqob>
- Куликов М.А. Синтез и исследование свойств азокрасителей на основе амида сульфаниловой кислоты. *Universum: химия и биология*. 2024; (3): 10–4.
- Коробов А.П., Савенков Е.Н., Мажаев Н.С. Опыт использования ацетата натрия в кормлении дойных коров. В кн.: *Современные способы повышения продуктивных качеств сельскохозяйственных животных, птицы и рыбы в свете импортозамещения и обеспечения продовольственной безопасности страны. Материалы международной научно-практической конференции посвященной 85-летию со дня рождения доктора сельскохозяйственных наук, профессора А.П. Коробова*. Саратов; 2015: 312–7. <https://elibrary.ru/tunizj>
- Кремер В.А., Светлова Л.П., Боровских А.М., Бибер Б.Л., Кузьмина Н.Л., Кудрявцева Г.В. Способ количественного определения ацетата натрия. Патент СССР № 1425537; 1988. <https://elibrary.ru/gercuj>
- Торянник В.П., Джагацпян Р.В., Ильичева И.А., Жихарева З.М., Егорова В.Н. Способ определения ацетата натрия в смеси моно-, ди-, триацетатов натрия. Патент СССР № 930116; 1982.
- Соболенко Л.Н., Черепица С.В., Сытова С.Н., Коваленко А.Н., Заяц М.Ф., Егоров В.В. и др. Инновационный метод определения количественного содержания летучих компонентов в алкогольной продукции. *Пищевая промышленность: наука и технология*. 2022; 15(4): 88–99. <https://elibrary.ru/qlcxap>
- Шевелева М.А. Летучие жирные кислоты в пробиотических средствах с биологически активными добавками. *Фармация*. 2010; (3): 13–4. <https://elibrary.ru/lrgwkn>
- Зайлалова В.Р. Изучение кинетики кислотно-катализируемой реакции этиерификации уксусной кислоты бутанолом. *Башкирский химический журнал*. 2013; 20(3): 135–8. <https://elibrary.ru/rofqcf>
- Оvezova M., Savin G. A. Синтез сложных эфиров термической этиерификацией. *Границы познания*. 2021; (3): 66–8. <https://elibrary.ru/fxnru>

References

- Bukhtiyarov I.V. Current state and main directions of preservation and strengthening of health of the working population of Russia. *Meditina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2019; 59(9): 527–32. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-9-527-532> <https://elibrary.ru/htkrsy> (in Russian)
- Onishchenko G.G. Development of the risk analysis methodology given the current safety challenges for public health in the Russian Federation: vital issues and prospects. *Analiz risika zdorov'yu*. 2023; (4): 4–18. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.4.01> <https://elibrary.ru/ccjwaj> (in Russian)
- Zaytseva N.V., Popova A.Yu., Onishchenko G.G., May I.V. Current problems of regulatory and scientific-medical support for the assurance of the sanitary and epidemiological welfare of population in the Russian Federation as the strategic government task. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2016; 95(1): 5–9. <https://elibrary.ru/vosqob> (in Russian)
- Sodium Acetate: National Library of Medicine. National Center for Biotechnology Information. Available at: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sodium-Acetate>
- Kulikov M.A. Synthesis and investigation of properties of azo dyes based on sulfanilic acid amide. *Universum: Chemistry and Biology*. 2024; (3): 10–4. (in Russian)
- Akşit A.C., Onar N. Leaching and fastness behavior of cotton fabrics dyed with different type of dyes using sol-gel process. *J. Appl. Polymer Sci.* 2008; 109(1): 97–105. <https://doi.org/10.1002/app.27284>
- Sallam K.I. Antimicrobial and antioxidant effects of sodium acetate, sodium lactate, and sodium citrate in refrigerated sliced salmon. *Food Control*. 2007; 18(5): 566–75.
- Korobov A.P., Savenkov E.N., Mazhaev N.S. The experience of using sodium acetate in feeding dairy cows. In: *Modern Ways to Improve the Productive Qualities of Farm Animals, Poultry and Fish in the Light of Import Substitution and Ensuring the Country's Food Security. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 85th Anniversary of the Birth of Doctor of Agricultural Sciences, Professor A.P. Korobov [Sovremennye sposoby povysheniya produktivnykh kachestv sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh, ptitsy i ryby v svete importozameshcheniya i obespecheniya prodovol'stvennoi bezopasnosti strany. Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii posvyashchennoi 85-letiyu so dnya rozhdeniya doktora sel'skokhozyaistvennykh nauk, professora A.P. Korobova]*. Saratov; 2015: 312–7. <https://elibrary.ru/tunizj> (in Russian)
- Neavyn M.J., Boyer E.W., Bird S.B., Babu K.M. Sodium acetate as a replacement for sodium bicarbonate in medical toxicology: a review. *J. Med. Toxicol.* 2013; 9(3): 250–4. <https://doi.org/10.1007/s13181-013-0304-0>
- Sheeba K.R.J., Priya R.K., Arunachalam K.P., Avudaiappan S., Maureira-Carsalade N., Roco-Videla Á. Characterisation of sodium acetate treatment on *Acacia pennata* natural fibres. *Polymers (Basel)*. 2023; 15(9): 1996. <https://doi.org/10.3390/polym15091996>
- Kremmer V.A., Svetlova L.P., Borovskikh A.M., Biber B.L., Kuzmina N.L., Kudryavtseva G.V. Method of quantitative analysis of sodium acetate. Patent USSR No. 1425537; 1988. <https://elibrary.ru/gercuj> (in Russian)
- Toryanik V.P., Dzhagatspanyan R.V., Ilicheva I.A., Zhikhareva Z.M., Egorova V.N. Method for the determination of sodium acetate in a mixture of mono-, di-, and triacetates of sodium. Patent USSR № 930116; 1982. (in Russian)
- Kveim M., Bredesen J.E. A gas chromatographic method for determination of acetate levels in body fluids. *Clin. Chim. Acta*. 1979; 92(1): 27–32. [https://doi.org/10.1016/0009-8981\(79\)90392-9](https://doi.org/10.1016/0009-8981(79)90392-9)
- Kostkina M.I., Vitenberg A.G., T'agi S., Kulikova A.I., Shostka G.D. Vapor-phase gas chromatographic determination of acetate in the blood. *Laboratornoe Delo*. 1990; (2): 13–5.
- Sabalenka L.N., Charapitsa S.V., Sytova S.N., Kavalenka A.N., Zayats M.F., Egorov V.V., et al. Innovative method for determining the quantitative content of volatile compounds in alcohol products. *Pishchevaya promyshlennost': nauka i tekhnologii*. 2022; 15(4): 88–99. <https://elibrary.ru/qlcxap> (in Russian)
- Sugawara K.F., Campbell D.E. Determination of sodium acetate in alkali and clay mixtures. *Analytica Chimica Acta*. 1969; 47(2): 377–80. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(01\)95694-6](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(01)95694-6)
- Williams K.E., Mazur J.F. Gas chromatographic analysis of acetic acid in air. *Am. Ind. Hyg. Assoc J.* 1980; 41(1): 1–4. <https://doi.org/10.1080/15298668091424276>
- Wittman G.Y., Van Langenhove H., Dewulf J. Determination of acetic acid in aqueous samples, by water-phase derivatization, solid-phase microextraction and gas chromatography. *J. Chromatogr. A*. 2000; 874(2): 225–34. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(00\)00114-x](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(00)00114-x)
- Sheveleva M.A. Volatile fatty acids in probiotics and dietary supplements. *Farmatsiya*. 2010; (3): 13–4. <https://elibrary.ru/lrgwkn> (in Russian)
- Zailalova V.R. Studying of kinetics and balance of acid catalyzed reaction of esterification of the butanol acetic acid. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal*. 2013; 20(3): 135–8. <https://elibrary.ru/rofqcf> (in Russian)
- Ovezova M., Savin G. Synthesis of esters by thermal esterification. *Grani poznaniya*. 2021; (3): 66–8. <https://elibrary.ru/fxnru> (in Russian)

Сведения об авторах

Потапова Ирина Александровна, канд. биол. наук, ст. науч. сотр., зав. лаб. химико-аналитических исследований отд. гигиены, ФБУН «ННИИГП» Роспотребнадзора, 603950, Нижний Новгород, Россия. E-mail: yes-ia@mail.ru

Федотова Ирина Викторовна, доктор мед. наук, доцент, гл. науч. сотр., зав. отд. гигиены, ФБУН «ННИИГП» Роспотребнадзора, 603950, Нижний Новгород, Россия. E-mail: irinavfed@mail.ru

Черникова Екатерина Федоровна, канд. мед. наук, ст. науч. сотр. отд. гигиены, ФБУН «ННИИГП» Роспотребнадзора, 603950, Нижний Новгород, Россия. E-mail: chernikova_ef@mail.ru

Умнягина Ирина Александровна, канд. мед. наук, директор, ФБУН «ННИИГП» Роспотребнадзора, 603950, Нижний Новгород, Россия. E-mail: recept@nniipp.ru

Калачева Екатерина Сергеевна, мл. науч. сотр. отд. гигиены, ФБУН «ННИИГП» Роспотребнадзора, 603950, Нижний Новгород, Россия. E-mail: kate.kalachova2013@yandex.ru

Жаркова Елена Михайловна, мл. науч. сотр. отд. гигиены; ФБУН «ННИИГП» Роспотребнадзора, 603950, Нижний Новгород, Россия. E-mail: elenzharkovaa@yandex.ru
Мельникова Анна Александровна, мл. науч. сотр. отд. гигиены; ФБУН «ННИИГП» Роспотребнадзора, 603950, Нижний Новгород, Россия. E-mail: ania.me2016@yandex.ru
Моисеева Евгения Витальевна, науч. сотр. отд. гигиены, ФБУН «ННИИГП» Роспотребнадзора, 603950, Нижний Новгород, Россия. E-mail: receipt@nniigp.ru

Information about the authors

Irina A. Potapova, PhD (Biology), Senior Researcher, Head of the Laboratory of Chemical and Analytical Research of the Hygiene Department, Nizhny Novgorod Scientific Research Institute for Hygiene and Occupational Pathology, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-5855-5410> E-mail: yes-ia@mail.ru

Irina V. Fedotova, DSc (Medicine), Associate Professor, Chief Researcher, Head of the Hygiene Department, Nizhny Novgorod Scientific Research Institute for Hygiene and Occupational Pathology, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-1743-8290> E-mail: irinavfed@mail.ru

Ekaterina F. Chernikova, PhD (Medicine), Senior Researcher at the Hygiene Department, Nizhny Novgorod Scientific Research Institute for Hygiene and Occupational Pathology, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0565-4551> E-mail: chernikova_ef@.ru

Irina A. Uminyagina, PhD (Medicine), Director, Nizhny Novgorod Scientific Research Institute for Hygiene and Occupational Pathology, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-9276-7043> E-mail: receipt@nniigp.ru

Ekaterina S. Kalacheva, Junior Researcher at the Hygiene Department, Nizhny Novgorod Scientific Research Institute for Hygiene and Occupational Pathology, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0009-8904-6534> E-mail: kate.kalachova2013@yandex.ru

Elena M. Zharkova, Junior Researcher at the Hygiene Department, Nizhny Novgorod Scientific Research Institute for Hygiene and Occupational Pathology, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-3326-9914> E-mail: elenzharkovaa@yandex.ru

Anna A. Mel'nikova, Junior Researcher at the Hygiene Department, Nizhny Novgorod Scientific Research Institute for Hygiene and Occupational Pathology, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-1068-7075> E-mail: ania.me2016@yandex.ru

Evgeniya V. Moiseeva, Researcher at the Hygiene Department, Nizhny Novgorod Scientific Research Institute for Hygiene and Occupational Pathology, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-6916-3826> E-mail: receipt@nniigp.ru