



Егорова М.В.<sup>1,2</sup>, Родионов А.С.<sup>1</sup>, Богданова Ю.Ю.<sup>1</sup>

## Обеспечение условий повышения достоверности следового анализа металлов-токсикантов

<sup>1</sup>ФБУН «Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 141014, Мытищи, Россия;

<sup>2</sup>ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 125993, Москва, Россия

**Введение.** В наиболее значимую группу экотоксикантов входят тяжёлые металлы, проблема определения которых на низких уровнях является одной из основных в аналитической химии и связана со значительным увеличением числа различных факторов, вносящих вклад в суммарную неопределённость, что увеличивает вероятность искажения результатов в связи с ошибочным принятием решения о соответствии полученных данных тому или иному нормативу. К наиболее существенным влияниям относят чистоту реактивов, посуды и воздуха лабораторных помещений.

**Цель работы** состояла в поиске путей снижения перечисленных влияний при условии минимизации затрат временных, материальных и трудовых ресурсов.

**Материалы и методы.** В ходе работы был выполнен ряд экспериментов, включающих анализ азотной кислоты на содержание металлов до и после очистки методом перегонки, анализ смывов с новой фторопластовой лабораторной посуды и посуды, подвергшейся очистке пропариванием, оценку влияния загрязнения воздуха лабораторного помещения на основании исследования градуировочных зависимостей, построенных при анализе стандартных растворов железа, приготовленных в «Чистом рабочем месте» и обычном вытяжном шкафу. Все измерения выполнялись методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на масс-спектрометре Agilent 7800 ICP-MS.

**Результаты.** Экспериментально доказана эффективность предложенных методов устранения мешающих влияний на ход анализа.

**Заключение.** Решение технической и аналитической задачи поиска оптимальных условий подготовки реактивов, посуды и самого лабораторного помещения помимо снижения материальных и временных затрат позволяет решить главную задачу — повысить достоверность получаемых результатов и не допустить искажения информации о реально наблюдаемой степени загрязнения среды обитания при проведении измерений следовых количеств металлов-токсикантов.

**Ключевые слова:** тяжёлые металлы; очистка посуды; «чистые помещения»; очистка кислот методом перегонки; атомная спектрометрия; масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой

**Для цитирования:** Егорова М.В., Родионов А.С., Богданова Ю.Ю. Обеспечение условий повышения достоверности следового анализа металлов-токсикантов. *Гигиена и санитария*. 2021; 100 (9): 1013–1018. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-9-1013-1018>

**Для корреспонденции:** Егорова Марина Валентиновна, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. отд. аналитических методов контроля ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, Мытищи. E-mail: analyt1@yandex.ru

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

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Участие авторов:** Егорова М.В. — концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи; Родионов А.С. — сбор и обработка материала, статистическая обработка, написание текста, сбор данных литературы; Богданова Ю.Ю. — сбор и обработка материала.

Поступила 15.06.2021 / Принята к печати 17.08.2021 / Опубликована 20.09.2021

Marina V. Egorova<sup>1,2</sup>, Alexander S. Rodionov<sup>1</sup>, Julia J. Bogdanova<sup>1</sup>

## Provision conditions for increasing the reliability of trace analysis of toxic metals

<sup>1</sup>Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman of the Federal Service for Supervision in Protection of the Rights of Consumer and Man Wellbeing, Mytishchi, 141014, Russian Federation;

<sup>2</sup>Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, 125993, Russian Federation

**Introduction.** Heavy metals are included in one of the significant groups of ecotoxicants. Determining heavy metals at low levels is one of the main problems in analytical chemistry, which depends on various factors. Ignoring the contribution of these factors to the total uncertainty can increase the probability of distortion of the results due to an erroneous decision on the compliance of the obtained data with a particular standard. The most significant influences include the purity of reagents, dishes, and air in laboratory rooms.

**Purpose of the work.** Search for ways of reducing the listed influences provided that the expense of time, material and labour resources are minimized.

**Materials and methods.** In the course of the work, many experiments were carried out, including the analysis of nitric acid for the content of metals before and after cleaning by distillation, the analysis of washes from new fluoroplastic laboratory glassware and glassware that had been cleaned by steaming, an assessment of the effect of air pollution in the laboratory room based on a study of calibration curves, which were constructed at the analysis of standard iron solutions prepared in the Clean Workplace and in a conventional fume hood. All measurements were performed by inductively coupled plasma mass spectrometry on Agilent 7800 ICP-MS mass spectrometer.

**Results.** The efficiency of the proposed methods for eliminating interfering influences on the analysis has been experimentally proved.

**Conclusion.** The technical and analytical problem, which consists of finding optimal conditions for preparation of reagents, glassware cleaning and decreasing the influence of laboratory air pollution, allows to increase reliability of the obtained results and prevent distortion of information about the observed degree of environmental pollution.

**Keywords:** heavy metals; cleaning dishes; «clean rooms»; purification of acids by distillation; atomic spectrometry; mass spectrometry with inductively coupled plasma

**For citation:** Egorova M.V., Rodionov A.S., Bogdanova J.J. Provision conditions for increasing the reliability of trace analysis of toxic metals. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100 (9): 1013-1018. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-9-1013-1018> (In Russ.)

**For correspondence:** Marina V. Egorova, MD, PhD, senior researcher of an analytical control methods department of Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman of the Federal Service for Supervision in Protection of the Rights of Consumer and Man Wellbeing, Mytishchi, 141014, Russian Federation. E-mail: [analyt1@yandex.ru](mailto:analyt1@yandex.ru)

**Information about authors:**

Egorova M.V., <https://orcid.org/0000-0001-9158-5136> Rodionov A.S., <https://orcid.org/0000-0002-0552-0174>  
Bogdanova J.J., <https://orcid.org/0000-0002-1265-287X>

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

**Acknowledgment.** The study had no sponsorship.

**Contribution:** Egorova M.V. – the concept and design of the study, editing, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article; Rodionov A.S. – collection and processing of material, statistical analysis, writing the manuscript, collection of the literature data; Bogdanova Ju.J. – collection and processing of material.

Received: June 15, 2021 / Accepted: August 17, 2021 / Published: September 20, 2021

## Введение

Стремительный технологический рост, глобальная урбанизация, увеличение количества автотранспорта, всё более широкое применение биологически активных добавок и средств защиты растений сказываются на состоянии окружающей среды [1]. Научно-технический прогресс неотделим от задачи сохранения экологического благосостояния среды обитания, так как токсические вещества, содержащиеся в продуктах хозяйственной деятельности, оказывают негативное влияние на весь спектр биологических систем. Одну из наиболее значимых групп экотоксикантов представляют тяжёлые металлы [2]. Термин «тяжёлые металлы» характеризует большую группу веществ, в качестве критериев принадлежности к которым используют многочисленные характеристики: атомная масса, плотность, токсичность, распространённость в природной среде, степень вовлечённости в природные и техногенные циклы. При рассмотрении с точки зрения экотоксичности к тяжёлым относят металлы с атомной массой свыше 50 атомных единиц [3], при этом обязательным условием является их высокая токсичность для живых организмов в относительно низких концентрациях, а также способность к биоаккумуляции [4]. В ходе многочисленных исследований в приоритетную группу металлов-токсикантов включены кадмий, медь, никель, свинец, мышьяк, ртуть, цинк, хром.

Наряду с ростом антропогенной нагрузки совершенствуется и инструментальная база, направленная на контроль загрязнений внешней среды. В настоящее время наиболее удобными методами контроля содержания тяжёлых металлов в различных объектах среды обитания являются методы атомной спектроскопии. К ним относят атомно-абсорбционный метод с различными техниками атомизации [5], атомно-эмиссионную спектроскопию и масс-спектрометрию с индуктивно-связанной плазмой [6, 7]. Перечисленные методы характеризуются высокой чувствительностью, возможностью работы в широком диапазоне концентраций.

Вместе с развитием технологий и методов анализа совершенствуется и нормативная база, направленная на снижение уровней содержания токсичных элементов в окружающей среде. Соответственно необходимость определения ксенобиотиков на уровнях следовых и ультраследовых количеств с каждым годом растёт.

Проблема определения низких количеств элементов является одной из основных в аналитической химии и связана, в частности, со значительным увеличением числа различных факторов, вносящих вклад в суммарную неопределённость, что увеличивает вероятность искажения результатов в связи с ошибочным принятием решения о соответствии полученных данных тому или иному нормативу [8].

К числу таких факторов можно отнести чистоту используемых реактивов [9], посуды [10] и воздуха лабораторного помещения [11]. Для достижения низких пределов обнаружения необходимо тщательно учитывать вклад каждого из указанных факторов.

Ультранизкие пределы обнаружения таких методов анализа, как, например, масс-спектрометрия с индуктивно свя-

занной плазмой, предполагают использование реактивов высокой степени чистоты, включая кислоты, при пробоподготовке, разбавлении и приготовлении стандартных растворов. Хотя коммерчески производимые реактивы всегда доступны для приобретения, их стоимость может быть очень высокой для регулярного пользования. К тому же после открытия ёмкости с реактивом высока вероятность загрязнения в результате ошибочных действий аналитика или из окружающей среды.

По вышеназванным причинам многие лаборатории проводят собственную очистку кислот до необходимой чистоты с помощью коммерческих систем очистки кислот [12]. Принцип действия большинства таких систем основан на перегонке жидкости при температуре, близкой к температуре кипения. Получаемые таким образом кислоты могут многократно превосходить по качеству реактивы от самых дорогих иностранных производителей.

Основу получения достоверного результата в ходе элементного анализа составляет процедура пробоподготовки. В настоящее время на смену классическим процедурам мокрого и сухого озоления пришёл метод микроволновой минерализации [13], в число преимуществ которого входят высокая производительность, полнота разложения пробы, отсутствие перекрёстного загрязнения проб [14], если речь идёт о системах закрытого типа. В большинстве современных систем реализована возможность отвода токсичных легковолетучих оксидов азота, особенно активно образующихся при разложении органической матрицы, что делает их более безопасными по отношению к оператору.

Подавляющее большинство производителей предлагают использовать фторопластовые сосуды для проведения минерализации. Причиной популярности фторопласта при работе с системами разложения является его инертность к микроволновому излучению – он полностью прозрачен для него, что способствует затрате энергии излучения только на непосредственный нагрев пробы.

Несмотря на безусловные преимущества, недостатком фторопласта, отмеченным многими исследователями, является сильный «эффект памяти», проявляющийся в увеличении разброса при анализе параллельных проб. Также в процессе эксплуатации фторопласт может терять свою инертность, что будет выражаться в неравномерности создаваемых условий в сосудах даже в пределах одного цикла минерализации. И если процедура регенерации фторопласта широко известна и проста – её легко осуществить путём выдерживания в сушильном шкафу при температуре 130–140 °С в течение нескольких часов, то устранение «эффекта памяти» может потребовать больших временных и ресурсных затрат. При этом отмечено, что общепринятая процедура ополаскивания фоновым раствором и проведения «холостого» цикла минерализации с чистой азотной кислотой не позволяет в полной мере избавиться от загрязнений. Предложена эффективная схема обработки посуды, включающая в себя трёхкратное ополаскивание деионизированной водой, чередующееся с отмывкой в ультразвуковой бане с азотной кислотой [15]. Процедура заканчивается пятикратным ополаскиванием

водой I класса чистоты и сушкой в сушильном шкафу при 80 °С. Но стоит учесть, что процедура, весьма эффективная для удаления следов загрязнений, является трудоёмкой и требует около 2,5 ч.

В качестве альтернативного метода предлагается использовать метод очистки посуды пропариванием раствором азотной кислоты с концентрацией 0,3 моль/дм<sup>3</sup>.

Загрязнения из воздуха наиболее трудно устранимы и непредсказуемы [16]. Воздух лабораторных помещений загрязнён различными твёрдыми и жидкими частицами как искусственного, так и естественного происхождения. При этом источниками загрязнений могут быть как предметы интерьера, так и одежда, волосы, ногти аналитика. Ещё более осложняет ситуацию невозможность учёта этого типа загрязнения при анализе холостой пробы, так как степень загрязнения и его качественная и количественная характеристика меняются с течением времени.

Для снижения загрязнений проб из воздуха рекомендуется выполнять аналитические процедуры в чистых комнатах, запылённость в которых значительно ниже, чем в обычных помещениях. Существует множество рекомендаций, которые следует учитывать при проектировании чистых помещений [17–20], в их число входят требования к поверхностям используемых стройматериалов, приточной вентиляции и микроклимату.

Однако обустройство таких помещений и поддержка необходимых условий технически сложны, дороги и не всегда целесообразны.

Цель настоящего исследования – поиск путей снижения перечисленных влияний при условии минимизации затрат временных, материальных и трудовых ресурсов. Для достижения поставленной цели был выполнен ряд экспериментов, включающих анализ азотной кислоты на содержание металлов до и после очистки методом перегонки, анализ смывов с новой фторопластовой лабораторной посуды и посуды, подвергнутой очистке пропариванием, оценку влияния загрязнения воздуха лабораторного помещения на основании исследования градуировочных зависимостей, построенных при анализе стандартных растворов железа, приготовленных в «Чистом рабочем месте» и обычном вытяжном шкафу.

## Материалы и методы

В ходе экспериментальных исследований использовалась новая полипропиленовая лабораторная посуда, одноразовые наконечники для дозаторов, предварительно промытые подкислённой деионизированной водой. Для получения воды I класса чистоты использовали систему очистки воды проточного типа Milli-Q Integral 5.

Первым этапом эксперимента являлась оценка эффективности очистки азотной кислоты квалификации «ХЧ» с концентрацией 65% с помощью системы очистки кислот методом перегонки без кипения типа СПК-2. Для наглядного сравнения качества получаемой кислоты с производственными аналогами проводили анализ исходной кислоты, кислоты после единичного и двойного цикла перегонки и коммерческой кислоты квалификации HIPERPUR. Контроль чистоты реактивов производился по содержанию 25 элементов. Анализ выполнен методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой.

Объектами исследования для оценки результативности очистки фторопластовой лабораторной посуды с помощью пропаривания раствором азотной кислоты с концентрацией 0,3 моль/дм<sup>3</sup> являлись 12 новых фторопластовых сосудов для микроволновой системы пробоподготовки типа МС-6, объёмом 100 см<sup>3</sup>. Чистоту стаканов контролировали на основе смывов с новых сосудов и сосудов, прошедших процедуру пропаривания. В качестве смывающей жидкости использован раствор азотной кислоты с концентрацией 0,3 моль/дм<sup>3</sup>. Смыв анализировали на содержание 23 элементов методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой.

В настоящей работе при оценке влияния загрязнения воздушной среды, для создания условий чистого помещения использовалось «Чистое рабочее место» ЧРМ-03 производства компании ООО «Аналит-Продактс». Влияние присутствующих в воздухе лабораторных помещений аэрозолей на предел обнаружения оценивали путём анализа градуировочных растворов железа, приготовленных в обычном вытяжном шкафу и в «Чистом рабочем месте». Анализируемый элемент выбран по причине его высокого естественного содержания в воздухе лаборатории.

Градуировочные растворы для масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой готовили из стандартного раствора для ИСП-МС «Environmental calibration standard» производства фирмы «Agilent Technologies».

Для приготовления стандартных растворов железа использовали образец аналитического стандарта ГСО 7766-200 с аттестованным значением содержания железа 1 мг/см<sup>3</sup>.

**Условия измерений.** Измерения проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой при следующих условиях. Напряжение на RF-генераторе составляло 1550 Вт, глубина плазмоотбора – 8 мм. Скорости потоков плазмообразующего, вспомогательного и распылительного газов составляли 15; 0,9 и 1,05 л/мин соответственно; скорость вращения насоса при распылении – 0,1 об./с; температура распылительной камеры – 20 °С. При оптимизации рабочих параметров ионной оптики были достигнуты следующие величины: напряжение на первой экстрагирующей линзе – 0,0 В; напряжение на второй экстрагирующей линзе – (–200 В); напряжение на смещающей омега-линзе – (–90 В); напряжение на омега-линзе – 10 В; напряжение на линзе на входе в реакционную ячейку – (–30 В); напряжение на линзе на выходе из реакционной ячейки – (–50 В). Высокочастотное напряжение на октополе составляло 200 В; смещающее напряжение на октополе – (–8 В). При проведении анализа время интегрирования составляло 0,1 с.

При анализе раствора для титрования с использованием указанных параметров, содержащего Li, Y, Se, Tl, чувствительность составляла (импульс · с<sup>–1</sup>/мг/дм<sup>3</sup>): 8 215 000 для <sup>7</sup>Li, 22 362 000 для <sup>89</sup>Y, 17 667 000 для <sup>205</sup>Tl; уровень оксидных ионов 156/140 – 1,196%; уровень двухзарядных ионов 70/140 – 1,273%.

## Результаты

Результаты, полученные при анализе содержания металлов в азотной кислоте различной степени чистоты, представлены на рис. 1. Результаты для кадмия, урана, мышьяка, бериллия и сурьмы не представлены на диаграмме, так как их содержание не превышает 10 ppt и является незначимым.

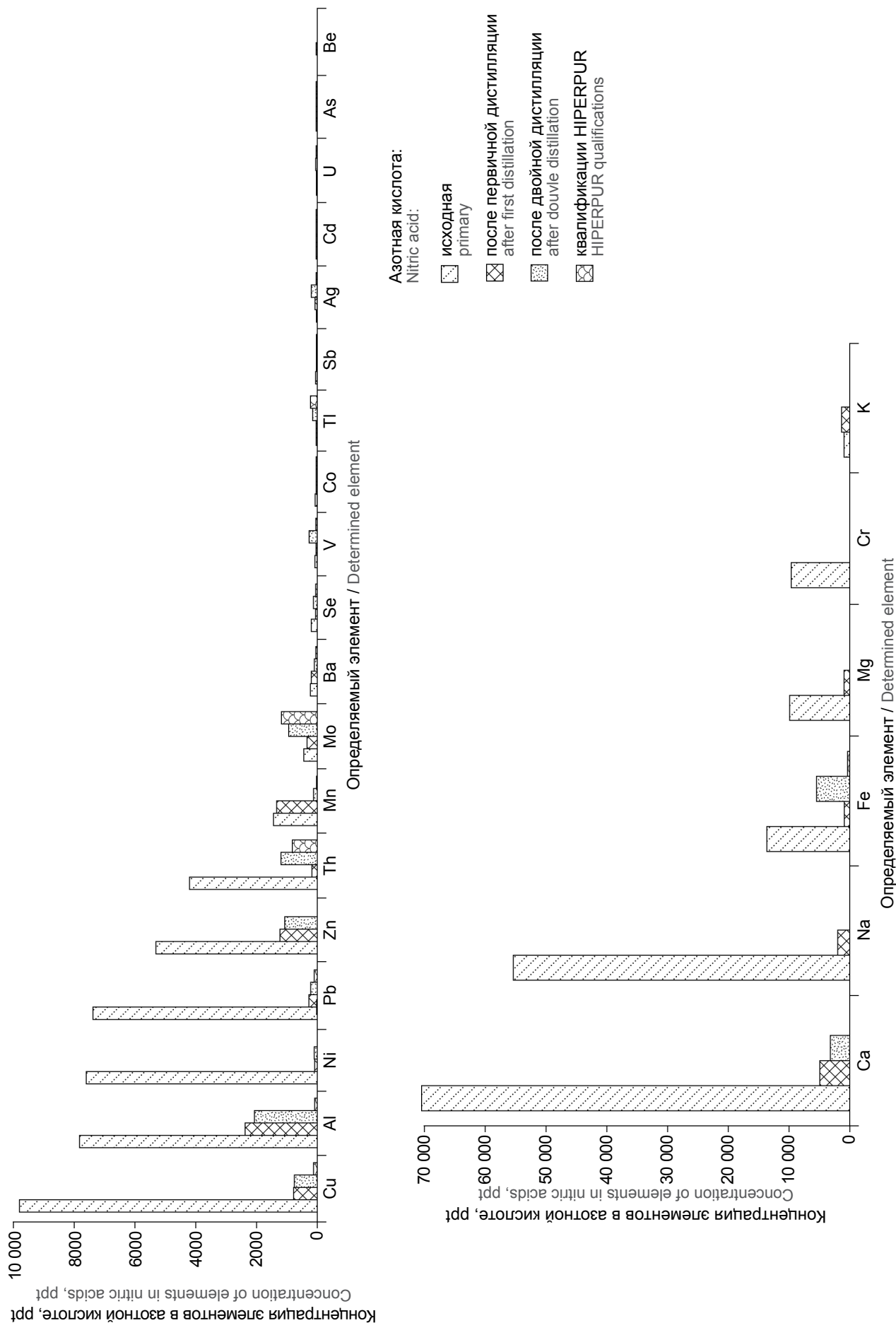
Результаты анализа смывов с фторопластовой посуды представлены на рис. 2. Отдельно вынесены диаграммы для калия, кальция и натрия ввиду высоких уровней их содержания.

Градуировочные зависимости, полученные для растворов железа в вытяжном шкафу и «Чистом рабочем месте», представлены на рис. 3.

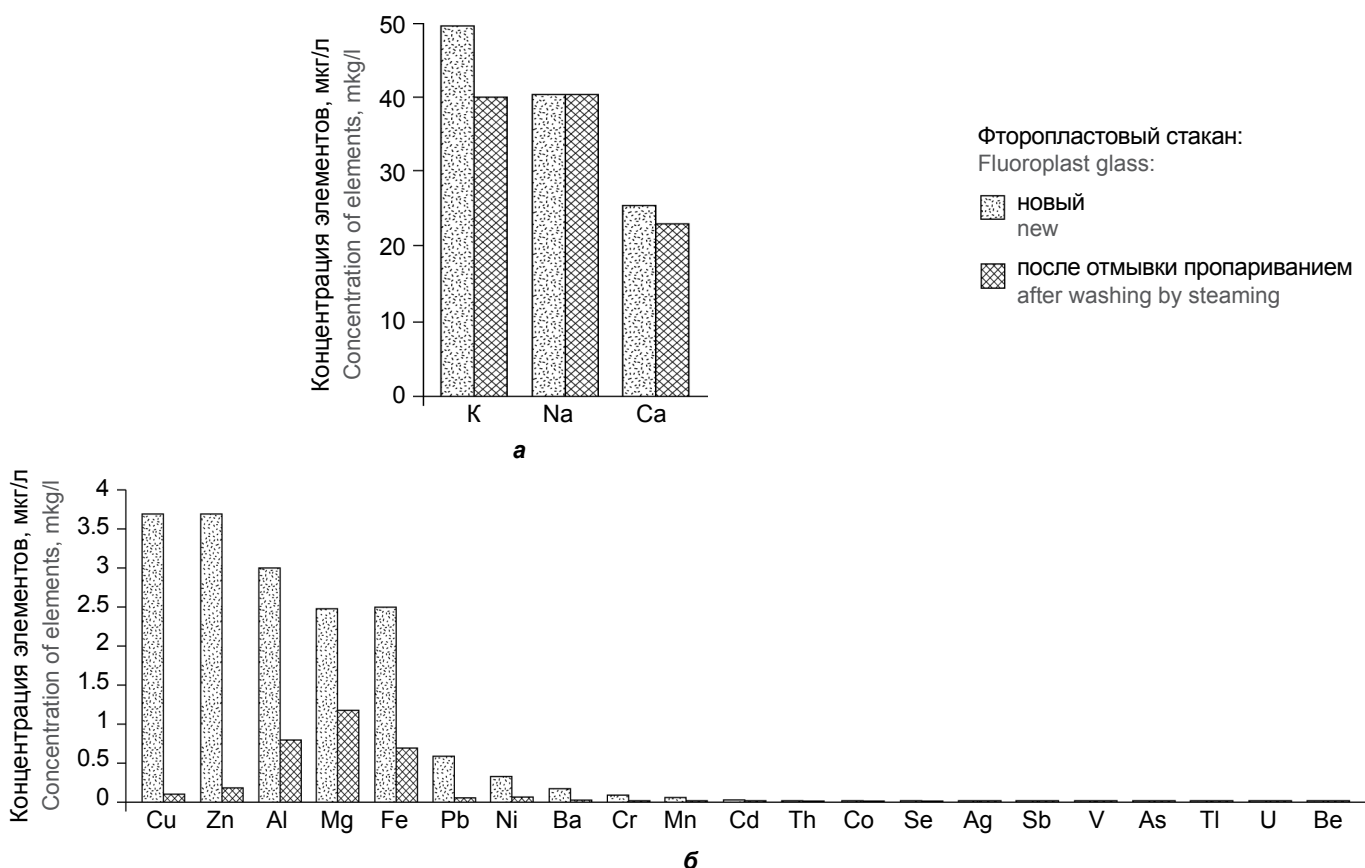
## Обсуждение

Отображённые на диаграмме данные, полученные при анализе кислоты различной степени чистоты, наглядно иллюстрируют снижение уровней анализируемых элементов после проведения перегонки. Повторная дистилляция позволяет удалить следы практически всех исследуемых элементов за исключением железа и кальция, обладающих высоким кларковым содержанием, и приблизиться по количественным характеристикам к кислоте квалификации HIPERPUR.

Данные, полученные при анализе смывов с фторопластовой посуды, показывают, что альтернативный метод очистки посуды пропариванием с фоновым раствором азотной кислоты обеспечивает возможность снижения времени

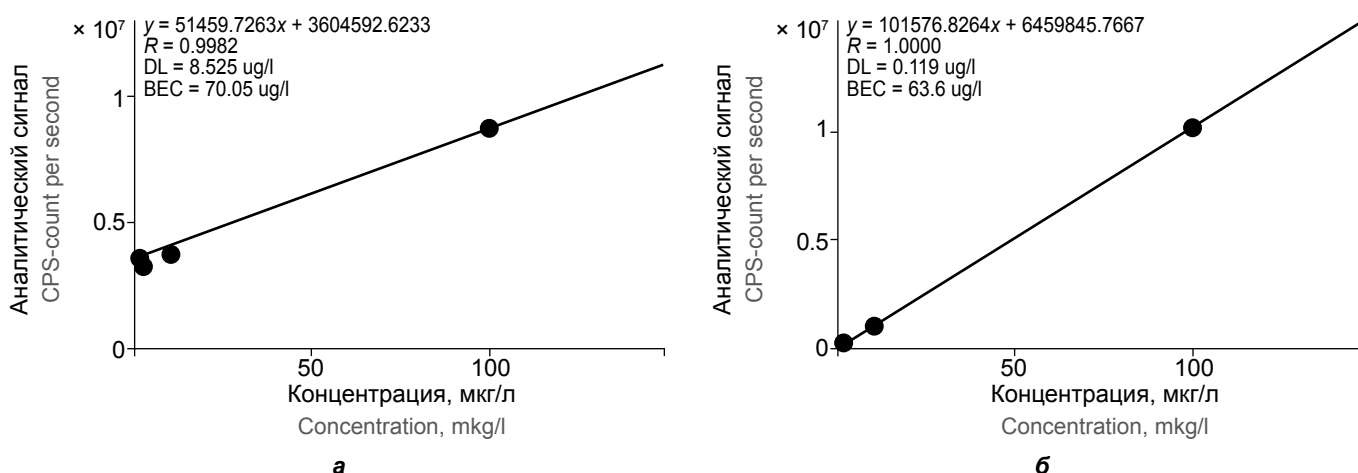


**Рис. 1.** Содержание элементов в азотной кислоте разной степени очистки.  
**Fig 1.** Content of elements in nitric acid of different purification degrees.



**Рис. 2.** Результаты анализов смывов с фторопластовой лабораторной посуды (новой и после очистки пропариванием): а – элементы с высоким кларковым содержанием; б – элементы с низким кларковым содержанием.

**Fig 2.** Results of analysis of washes from fluoroplastic laboratory glassware (new and after cleaning by steaming): а – elements with high Clark content; б – elements with low Clark content.



**Рис. 3.** Градуировочная характеристика раствора железа, приготовленного в вытяжном шкафу (а) и в «Чистом рабочем месте» (б).  
**Fig 3.** Calibration curve of the iron solution prepared in a fume hood (а) and in «Clean Workplace» (б).

проведения одного цикла до 15 мин без потери качества очистки, при этом удаётся полностью удалить магний, алюминий, железо, медь и цинк и значительно снизить концентрацию других элементов до уровней, не превышающих предел детектирования аппаратуры.

Анализируя градуировочные зависимости, полученные для растворов железа, можно выделить следующие закономерности: при работе в вытяжном шкафу в области низких концентраций наблюдается более интенсивный сигнал по

сравнению с растворами той же концентрации, приготовленными в «Чистом рабочем месте». Вероятнее всего, такое различие вызвано контаминацией градуировочных растворов из воздуха вытяжного шкафа.

Соответственно наблюдается значительная разница в пределе обнаружения определённым программным обеспечением оборудования – 8,525 мкг/л при построении градуировочной зависимости на растворах, приготовленных в вытяжном шкафу, против 0,119 мкг/л при построении графика

на растворах, приготовленных в «Чистом рабочем месте». Различие построенных зависимостей выражается и в увеличении коэффициентов корреляции у зависимостей, построенных на растворах, приготовленных в «Чистом рабочем месте».

Указанные закономерности наглядно иллюстрируют влияние присутствия воздушных аэрозолей на ход анализа при работе на уровнях долей ppb.

## Заключение

Полученные данные показывают эффективность выбранных подходов для снижения влияния негативных факторов, таких как чистота реактивов, посуды и воздуха в лаборатории, при проведении элементного анализа. Положительным моментом является возможность снижения стоимости анализа за счёт использования систем очистки кислот вместо дорогих импортных реактивов. Оптимизация

процесса очистки посуды позволяет значительно уменьшить время проведения полного цикла минерализации. Целесообразно проводить глубокую очистку сосудов после разложения каждой серии образцов, особенно если речь идёт о посуде с механическими дефектами, которая эксплуатировалась длительное время. Использование чистых рабочих помещений не только эффективно, но и необходимо при реализации высокочувствительных методов анализа, а также при хранении реактивов и растворов.

Решение технической и аналитической задачи поиска оптимальных условий подготовки реактивов, посуды и самого лабораторного помещения помимо снижения материальных и временных затрат позволяет решить главную задачу – повысить достоверность получаемых результатов и не допустить искажения информации о реально наблюдаемой степени загрязнения среды обитания при проведении изменений следовых количеств металлов-токсикантов.

## Литература

(п.п. 1, 4, 7–13, 17–20 см. References)

2. Сатаров Г.А. Экологические аспекты применения агрохимикатов. *Ульяновский медико-биологический журнал*. 2013; (1): 138–47.
3. Теплая Г.А. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды (обзор литературы). *Астраханский вестник экологического образования*. 2013; (1): 182–92.
5. Пупышев А.А. *Атомно-абсорбционный спектральный анализ*. М.: Техносфера; 2009.
6. Пупышев А.А., Суриков В.Т. *Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой. Образование ионов*. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH&Co. KG; 2012.
14. Башилов А.В. Микроволновая подготовка проб к элементному анализу – вчера, сегодня, завтра. *Аналитика*. 2011; (1): 6–15.
15. Столбоушкина Т.П. Чистота лабораторной посуды – залог достоверных и точных измерений. *Альманах современной метрологии*. 2018; (14): 201–5.
16. Коркина Д., Кларк-Карская Ю., Иванова А., Захарова А., Кузин А., Гринштейн И. Чистое рабочее место – комплексное решение проблемы загрязнений проб при проведении следового элементного анализа. *Аналитика*. 2016; (2): 58–68.

## References

1. Mukasheva M.A, Nugumanova Sh.M., Surzhikov D.V. Influence of heavy metals on an environment and health of population. *Bulletin of the Karaganda university*. 2016; 81(1): 59–65.
2. Satarov G.A. Ecological aspects of application of agrochemicals. *Ulyanovskiy mediko-biologicheskij zhurnal*. 2013; (1): 138–46. (in Russian)
3. Teplaya G.A. Heavy metals as a factor of environmental pollution (review). *Astrakhanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya*. 2013; (1): 182–92. (in Russian)
4. Ali H., Khan E., Ilahi I. Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *J. Chem.* 2019; 2019: 14. <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>
5. Pupyshv A.A. *Atomic Absorption Spectral Analysis [Atomno-absorbtsionnyy spektral'nyy analiz]*. Moscow: Tekhnosfera; 2009. (in Russian)
6. Pupyshv A.A., Surikov V.T. *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. Formation of Ions [Mass-spektrometriya s induktivno-svyazannoy plazмой. Obrazovanie ionov]*. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH&Co. KG; 2012. (in Russian)
7. Li H., Lei X., Li H., Hu Y., Wen R. Analysis of wholesome elements and heavy metals in red soybean by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Am. J. Anal. Chem.* 2019; (10): 137–42. <https://doi.org/10.4236/ajac.2019.104012>
8. Welna M., Szymczycha-Madeja A., Pohl P. Quality of the trace element analysis: Sample preparation steps. In: Akyar I., ed. *Wide Spectra of Quality Control*. IntechOpen; 2011. <https://doi.org/10.5772/21290>
9. Richter R.C., Link D., Kingston H.M. On-demand production of high-purity acids in the analytical laboratory. *Spectroscopy (Santa Monica)*. 2000; (15): 38–40.
10. Unproductive Time Traps in ICP-MS Analysis and How to Avoid Them. Agilent Technologies, Inc.; 2021. Available at: <https://www.technologynetworks.com/applied-sciences/ebooks/unproductive-time-traps-in-icp-ms-analysis-and-how-to-avoid-them-346921>
11. Mahalingam T.R. Metal free clean room for ultra trace analysis. In: *Clean Laboratories and Clean Rooms for Analysis of Radionuclides and Trace Elements*. Vienna: IAEA; 2003: 29–41.
12. Monticelli D., Castelletti A., Civati D., Recchia S., Dossi C. How to efficiently produce ultrapure acids. *Int. J. Anal. Chem.* 2019; 2019: 5180610. <https://doi.org/10.1155/2019/5180610>
13. Dospatliev L. Using microwave mineralization in order to determine heavy metal concentration in samples. *Agric. Sci. Technol.* 2010; 2(1): 40–3.
14. Bashilov A.V. Micro-wave preparation of samples for elemental analysis – yesterday, today, tomorrow. *Analitika*. 2011; (1): 6–15. (in Russian)
15. Stolboushkina T.P. Purity of glassware – a key to reliable and accurate measurements. *Al'manakh sovremennoy metrologii*. 2018; (14): 201–5. (in Russian)
16. Korkina D., Klark-Karskaya Yu., Ivanova A., Zakharova A., Kuzin A., Grinshcheyn I. A clean work station – integrated solution of the samples contamination problem during the trace elemental analysis. *Analitika*. 2016; (2): 58–68. (in Russian)
17. Flegal A.R. *Guidance on Establishing Trace Metal Clean Rooms in Existing Facilities*. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency; 1996.
18. Vogt S. Quality control of the laboratory environment. In: *Clean Laboratories and Clean Rooms for Analysis of Radionuclides and Trace Elements*. Vienna: IAEA; 2003: 43–7.
19. Woittiez J.R.W., Sloof J.E. Isotope specific analysis and clean regime. In: *Clean Laboratories and Clean Rooms for Analysis of Radionuclides and Trace Elements*. Vienna: IAEA; 2003: 48–56.
20. Perrin R.E. Project planning for an environmental clean laboratory: a summary of requirements and approach. In: *Clean Laboratories and Clean Rooms for Analysis of Radionuclides and Trace Elements*. Vienna: IAEA; 2003: 52–64.