

Обзор

УДК 006.91+544.6.076

**РЕЗУЛЬТАТЫ УЧАСТИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО
ПЕРВИЧНОГО ЭТАЛОНА ГЭТ 217-2018
В МЕЖДУНАРОДНЫХ СЛИЧЕНИЯХ
В РАМКАХ КОНСУЛЬТАТИВНОГО КОМИТЕТА
ПО КОЛИЧЕСТВУ ВЕЩЕСТВА**

**Алексей Анатольевич Стахеев^{1✉},
Татьяна Павловна Шеремет²**

^{1, 2} ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево, Московская обл., Россия

¹ stakheev@vniiftri.ru✉, SPIN-код: 5309-7260

² stolboushkina@vniiftri.ru, SPIN-код: 3539-8158

Аннотация. В статье дан обзор результатов участия Государственного первичного эталона единиц массовой (молярной) доли и массовой концентрации компонентов в водных растворах ГЭТ 217 в международных сличениях: SIM.QM-S7 “Trace Metals in Drinking Water” — определение следовых количеств металлов в питьевой воде; CCQM-K128 “Measurement of Heavy Metals and Organo-Tin in Leather Powder” — измерение тяжёлых металлов и органоолова в порошке кожи; APMP.QM-S10 “Elements in Food Supplement” — анализ элементов в пищевых добавках; EURAMET.QM-S11 “Determination of Elements in River Water” — определение элементов в речной воде. Цель участия — демонстрация измерительных возможностей эталона и обеспечение международной сопоставимости результатов измерений содержания элементов в различных матрицах. На сличениях использовались метод гравиметрических стандартных добавок применительно к масс-спектрометрии и оптико-эмиссионной спектроскопии, а также метод масс-спектрометрии с изотопным разбавлением. Результаты сличений показали, что измерения, выполняемые с использованием ГЭТ 217 для определения содержания элементов в различных матрицах, таких как питьевая вода, речная вода, порошок кожи и пищевые добавки, сопоставимы с результатами других национальных метрологических институтов / назначенных институтов.

Ключевые слова: государственный первичный эталон, ГЭТ 217, метод измерений, водный раствор, международное сличение

Для цитирования: Стахеев А.А., Шеремет Т.П. Результаты участия Государственного первичного эталона ГЭТ 217-2018 в международных сличениях в рамках Консультативного комитета по количеству вещества // Альманах современной метрологии. 2026. № 2 (46). С. 8–21.

© Стахеев А.А., Шеремет Т.П., 2026

I. Metrology and metrological support

Review

**RESULTS OF INTERNATIONAL COMPARISONS
CONDUCTED WITHIN THE FRAMEWORK
OF THE CONSULTATIVE COMMITTEE ON AMOUNT
OF SUBSTANCE WITH THE PARTICIPATION
OF THE STATE PRIMARY STANDARD GET 217-2018**

**Alexey A. Stakheev¹✉,
Tatiana P. Sheremet²**

^{1,2} FSUE "VNIIFTRI", Mendeleevo, Moscow region, Russia

¹ stakheev@vniiftri.ru✉, SPIN-code: 5309-7260

² stolboushkina@vniiftri.ru, SPIN-code: 3539-8158

Abstract. This review article describes the participation of the State Primary Standard of Unit of Mass Fraction and Unit of Mass (Molar) Concentration of Inorganic Components in Aqueous Solutions Based on Gravimetric and Spectral Methods GET 217 in international key comparisons: SIM.QM-S7 "Trace Metals in Drinking Water"; CCQM-K128 "Measurement of Heavy Metals and Organo-Tin in Leather Powder"; APMP.QM-S10 "Elements in Food Supplement"; EURAMET.QM-S11 "Determination of Elements in River Water". The aim of this participation was to demonstrate the standard's measurement capabilities and ensure international comparability of measurements results of the content of elements in various matrices. The methods used included gravimetric standard additions (with mass spectrometry and optical emission spectroscopy) and isotope dilution mass spectrometry. Results confirm that GET 217 measurements for various matrices (drinking water, river water, leather powder, food supplements) are comparable to those of other national metrological institutions and designated institutes.

Keywords: state primary standard, GET 217, method of measurements, aqueous solution, international comparison

For citation: Stakheev A.A., Sheremet T.P. Results of international comparisons conducted within the framework of the Consultative Committee on Amount of Substance with the participation of the State Primary Standard GET 217-2018. *Almanac of Modern Metrology*. 2026; 46 (2): 8–21.

В условиях глобализации экономики и усиления международной кооперации в сфере науки и технологий существенно возросли требования к достоверности и сопоставимости результатов измерений на межгосударственном уровне. Ключевым условием реализации этих требований выступает обеспечение прослеживаемости измерений к первичным эталонам, что гарантирует единство измерений на международном уровне [1].

Национальные метрологические институты (НМИ) и назначенные институты (НИ) принимают участие в международных сличениях, проводимых под эгидой соответствующих метрологических организаций. НМИ/НИ координируют программы международных сличений, предоставляют образцы и

ставят измерительные задачи для участников, обрабатывают и комплексно анализируют полученные экспериментальные данные, а также контролируют соблюдение установленных метрологических требований и норм. Проведение сличений решает ряд критически важных задач. Прежде всего, они подтверждают эквивалентность получаемых результатов измерений национальных эталонов, доказывая, что эталоны разных стран воспроизводят единицу величины с сопоставимой точностью. Сравнение результатов помогает выявлять систематические погрешности, обнаруживая скрытые ошибки в методиках или оборудовании. Успешное участие в международных сличениях напрямую подтверждает достоверность измерений на национальном уровне. Неудовлетворительные результаты, напротив, сигнализируют о недостаточной метрологической компетентности и могут привести к ограничению международного признания калибровочных и измерительных услуг страны. Важным количественным индикатором уровня развития метрологического обеспечения выступает число строк калибровочных и измерительных возможностей (Calibration and Measurement Capabilities, CMC) в базе данных измерительных и калибровочных возможностей метрологических институтов (key comparison database, KCDB) Международного бюро мер и весов (МБМВ; International Bureau of Weights and Measures, BIPM). Одной из характеристик метрологических возможностей страны является количество опубликованных CMC.

ФГУП «ВНИИФТРИ» с начала разработки эталона ГЭТ 217 (2015 год) по настоящее время для подтверждения своих возможностей в области измерений токсичных элементов и тяжелых металлов в пресных водах, порошке кожи, пищевых добавках, бычьей печени и аналогичных матрицах принял участие в следующих международных сличениях: SIM.QM-S7 “Trace Metals in Drinking Water” (следовые количества металлов в питьевой воде); CCQM-K128 “Measurement of Heavy Metals and Organo-Tin in Leather Powder” (измерение тяжелых металлов и органоолова в порошке кожи); APMP.QM-S10 “Elements in Food Supplement” (элементы в пищевых добавках); EURAMET.QM-S11 “Determination of Elements in River Water” (элементы в речной воде) [2]–[5].

Контроль содержания токсичных элементов и тяжёлых металлов в объектах окружающей среды и потребительской продукции является важнейшим компонентом системы обеспечения санитарно-эпидемиологической безопасности населения. Питьевая вода, пищевые продукты и текстильные изделия находятся в зоне повышенного внимания надзорных органов, поскольку именно через эти объекты происходит основное поступление опасных веществ в организм человека. Даже микроскопические концентрации токсичных элементов, таких как свинец (Pb), кадмий (Cd), мышьяк (As), ртуть (Hg), никель (Ni), способны вызывать хронические отравления, канцерогенные эффекты и системные нарушения функций внутренних органов, а также накапливаться в биологических цепочках.

Координаторы сличения **SIM.QM-S7** — Национальный научно-исследовательский совет Канады (National Research Council, NRC) и Национальный метрологический центр Мексики (Centro Nacional de Metrología, CENAM) — направили участникам образцы питьевой воды для измерения содержания в них натрия (Na), меди (Cu) и стронция (Sr). Определение содержания микроэлементов (следовых количеств металлов) в питьевой воде представляет собой критически важный этап контроля её качества. Наличие токсичных металлов, таких как медь и стронций, а также избыток натрия в питьевой воде могут приводить к накоплению этих элементов в организме и вызывать хронические патологии. Регулярный лабораторный анализ — надёжный способ предотвратить угрозу и обеспечить безопасность водных ресурсов для потребителей. В рамках глобальной системы обеспечения качества питьевой воды определение содержания токсичных и нормируемых металлов (в том числе Na, Cu, Sr) проводится на постоянной основе аккредитованными лабораториями и испытательными центрами по всему миру, согласно национальному законодательству.

Натрий, хотя и является естественным компонентом водных систем, подлежит строгому контролю, поскольку его избыток может негативно влиять на здоровье людей с гипертонией или заболеваниями почек. Медь, будучи микроэлементом, необходима организму в малых дозах, однако превышение предельно допустимой концентрации (ПДК) вызывает токсический эффект. Стронций встречается в природных водах, и его концентрация зависит от геохимических особенностей региона; контроль его уровня важен для профилактики нарушений минерального обмена [6]–[8].

В ходе сличений выбор аналитического метода и соответствующих операций был оставлен на усмотрение участников. Такой подход позволил оценить вариабельность результатов, обусловленную использованием различных методик анализа, и выявить ключевые факторы, влияющие на сходимость данных в межлабораторном эксперименте. Во всех сличениях для снижения концентрации целевых элементов в «пустой» пробе и минимизации рисков загрязнения во ВНИИФТРИ применялись процедуры обработки пластиковой посуды в ультразвуковой ванне в четыре этапа с использованием разбавленной перегнанной азотной кислоты и деионизованной воды и обработки в шесть этапов для посуды из перфторалкоксидного полимера с дополнительным использованием концентрированной перегнанной азотной кислоты [9]. Все растворы готовились гравиметрическим методом. Измерения целевых элементов (Na, Cu и Sr) проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Перед основными измерениями проводилась предварительная проверка сигналов для изотопов стронция в полученных образцах воды. Далее определялась оптимальная концентрация «спайка» — разбавленного изотопного стандарта, добавляемого к образцу для градуировки. Одновременно устанавливались изотопные отношения в «бленде» — смеси анализируемого

образца и «спайка». Такой комплексный подход минимизировал погрешности и обеспечил высокую воспроизводимость результатов измерений стронция. Измерения массовой доли натрия и меди проводили методом стандартных добавок с использованием внутреннего стандарта, что позволило существенно повысить точность и воспроизводимость результатов анализа. Метод стандартных добавок предполагает введение в анализируемую пробу точно известных количеств определяемого элемента (стандарта), что даёт возможность учитывать матричные эффекты и влияние сопутствующих компонентов пробы.

Степени эквивалентности результатов измерений участников сличения SIM.QM-S7 приведены на рис. 1–3. На каждом рисунке нулевая линия выступает в качестве опорного значения, которое рассчитано на основе анализа всего массива данных, собранных от участников сличения после удаления «выбросов» в соответствии с рекомендациями Консультативного комитета по количеству вещества (КККВ; Consultative Committee on Amount of Substance, CCQM) МБМВ. Степень эквивалентности показывает, насколько результаты измерений согласуются с опорным значением ключевого сличения (key comparison reference value, KCRV).

Результаты измерений массовой доли меди, натрия и стронция в питьевой воде на ГЭТ 217 (см. рис. 1–3) согласуются с опорными значениями сличения SIM.QM-S7 в рамках заявленных неопределённостей. Полученные результаты способствуют международному признанию измерительных возможностей, обеспечиваемых на ГЭТ 217.

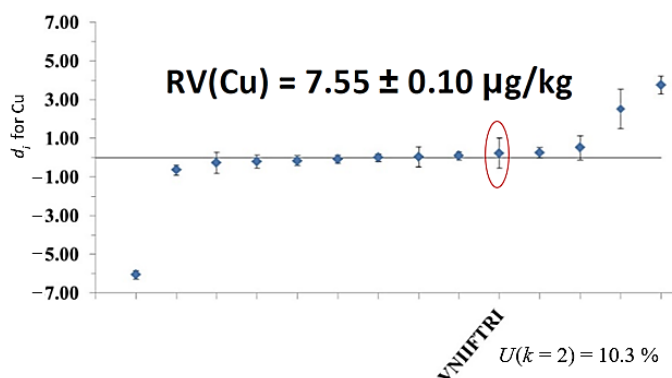


Рис. 1. Степень эквивалентности результатов измерений SIM.QM-S7 по массовой доле меди.

Обозначения: d_i — степень эквивалентности результатов измерений;

RV — опорное значение ключевого сличения; U — относительная расширенная неопределённость результатов измерений; k — коэффициент охвата

Fig. 1. Degree of equivalence of SIM.QM-S7 measurement results for the mass fraction of copper.

Legend: d_i — degree of equivalence of measurement results;

RV — reference value of the key comparison; U — relative expanded uncertainty; k — coverage factor

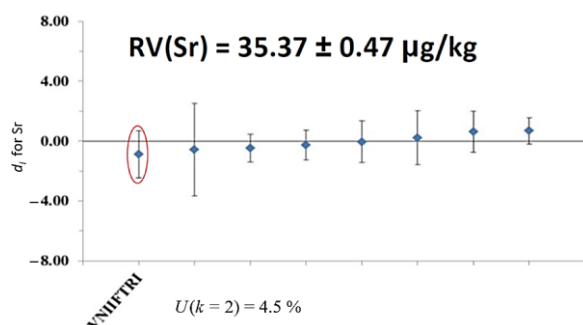


Рис. 2. Степень эквивалентности результатов измерений SIM.QM-S7 по массовой доле стронция
 Fig. 2. Degree of equivalence of SIM.QM-S7 measurement results for the mass fraction of strontium

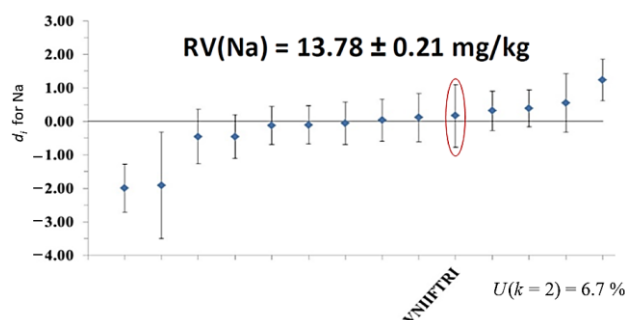


Рис. 3. Степень эквивалентности результатов измерений SIM.QM-S7 по массовой доле натрия
 Fig. 3. Degree of equivalence of SIM.QM-S7 measurement results for the mass fraction of sodium

Использование химических реагентов в технологических процессах при подготовке изделий из кожи приводит к выбросу тяжёлых металлов и токсичных соединений в окружающую среду, формируя существенные экологические риски. В связи с этим актуальной научной и прикладной задачей становится разработка точных методик количественного определения тяжёлых металлов в кожевенных материалах. Для её решения НМИ/НИ необходимо создать систему прослеживаемости в области химической метрологии, включающую как совершенствование аналитических методов измерений, так и разработку сертифицированных стандартных образцов. Реализация данной задачи осложняется структурной гетерогенностью кожевенных материалов и высокой концентрацией отдельных элементов, провоцирующих матричные эффекты при инструментальном анализе.

Для обеспечения сопоставимости и прослеживаемости результатов измерений содержания тяжёлых металлов и оловоорганических соединений в изделиях из кожи было организовано сличение **ССQM-K128**. Координатор сличения — Национальный институт метрологии Китая (National Institute of Metrology of China, NIM) — направил участникам образцы порошка кожи для измерения содержания в них массовой доли следующих элементов: медь (Cu), свинец (Pb), кобальт (Co), кадмий (Cd), мышьяк (As), ртуть (Hg)

и никель (Ni). Контроль содержания данных компонентов вызывает особый интерес ввиду их потенциальной токсичности и способности накапливаться в биологических материалах [10], [11].

Целевые компоненты измеряли методом стандартных добавок на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой из состава ГЭТ 217. Растворы готовили гравиметрическим методом, для коррекции инструментальных флуктуаций проб применяли внутренний стандарт.

Степени эквивалентности результатов измерений ССQM-K128 приведены на рис. 4–6. На каждом рисунке нулевая линия выступает в качестве опорного значения, рассчитанного на основе анализа всего массива данных, собранных от участников после удаления выбросов в соответствии с рекомендациями КККВ МБМВ.

Результаты измерений массовой доли кадмия, свинца, кобальта, никеля, мышьяка и меди в порошке кожи на ГЭТ 217 (см. рис. 4–6) согласуются с опорными значениями ССQM-K128 в рамках заявленных неопределённостей. Полученные результаты свидетельствуют об эквивалентности измерительных возможностей, обеспечиваемых на ГЭТ 217 на международном уровне.

Для обеспечения сопоставимости и прослеживаемости результатов измерений массовой доли магния (Mg), марганца (Mn) и кальция (Ca) в пищевых добавках было организовано сличение **APMP.QM-S10**. Его координатор NIM направил участникам образцы биологически активной пищевой добавки для измерения содержания в них этих элементов. Контроль содержания Mg, Mn и Ca в БАДах необходим для обеспечения терапевтической эффективности: эти минералы выполняют ключевые биологические функции (поддержание костной ткани, нервно-мышечной передачи, метаболизма), и их недостаточная дозировка не даст ожидаемого оздоровительного эффекта. Точный количественный анализ предотвращает риск дефицита данных элементов в организме: недостаток кальция ведёт к остеопорозу, магния — к мышечным спазмам и аритмии, марганца — к нарушению синтеза коллагена и обмена веществ. Контроль также минимизирует риск передозировки: избыток кальция может спровоцировать гиперкальциемию и кальцификацию сосудов, магния — гипотонию и нарушение сердечного ритма, марганца — нейротоксические эффекты [12]–[14].

Измерения целевых компонентов проводили методом стандартных добавок на оптико-эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой из состава ГЭТ 217. Растворы готовили гравиметрическим методом, для коррекции инструментальных флуктуаций проб применяли внутренний стандарт.

Степени эквивалентности результатов измерений **APMP.QM-S10** приведены на рис. 7–9. На каждом рисунке нулевая линия выступает в качестве опорного значения, которое рассчитано на основе анализа всего массива данных, собранных от участников сличения после удаления «выбросов» в соответствии с рекомендациями КККВ МБМВ.

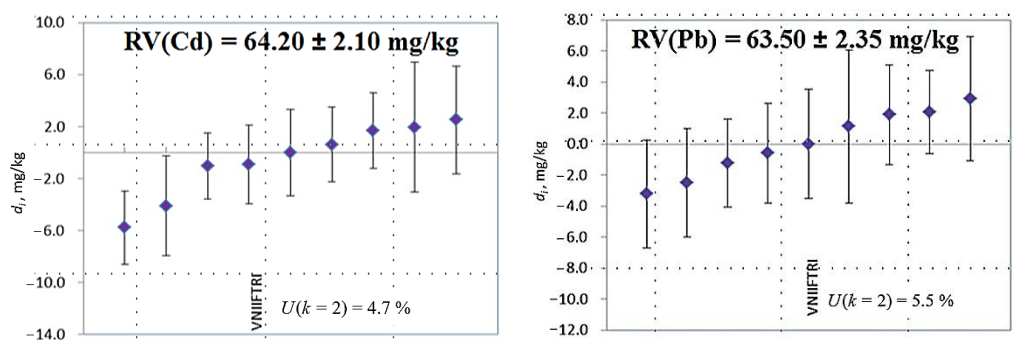


Рис. 4. Степень эквивалентности результатов измерений CCQM-K128 по массовой доле кадмия (слева) и свинца (справа)

Fig. 4. Degree of equivalence of CCQM-K128 measurement results for the mass fraction of cadmium (left) and lead (right)

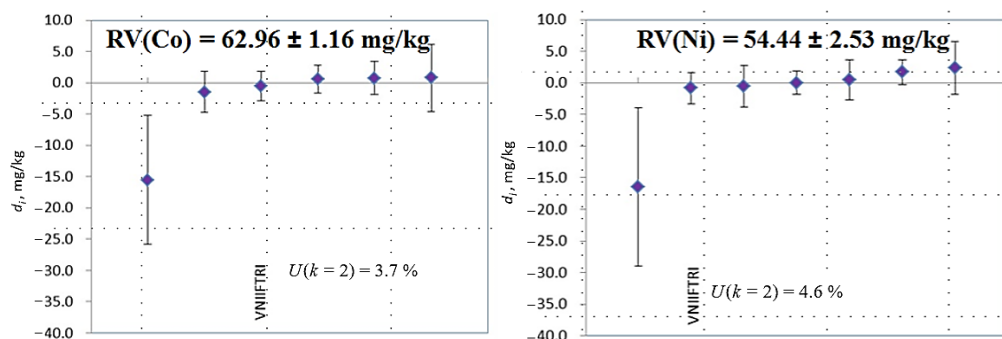


Рис. 5. Степень эквивалентности результатов измерений CCQM-K128 по массовой доле кобальта (слева) и никеля (справа)

Fig. 5. Degree of equivalence of CCQM-K128 measurement results for the mass fraction of cobalt (left) and nickel (right)

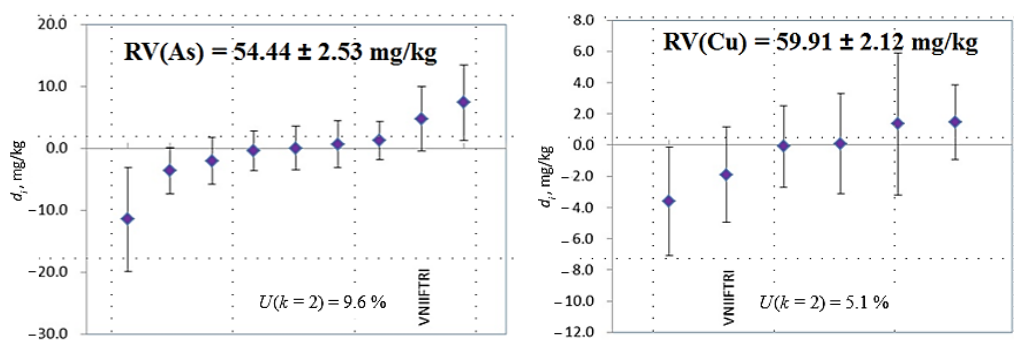


Рис. 6. Степень эквивалентности результатов измерений CCQM-K128 по массовой доле мышьяка (слева) и меди (справа)

Fig. 6. Degree of equivalence of CCQM-K128 measurement results for the mass fraction of arsenic (left) and copper (right)

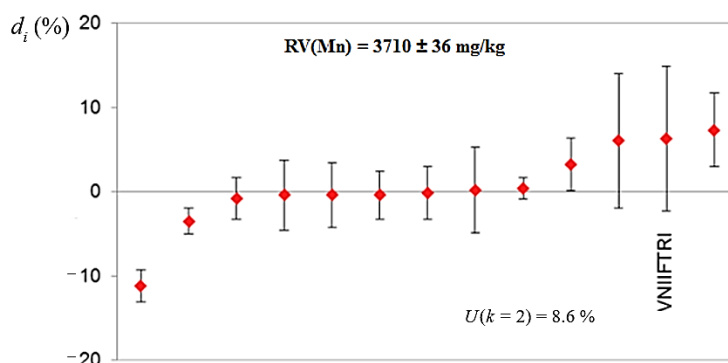


Рис. 7. Степень эквивалентности результатов измерений
APMP.QM-S10 по массовой доле марганца

Fig. 7. Degree of equivalence of APMP.QM-S10 measurement results
for the mass fraction of manganese

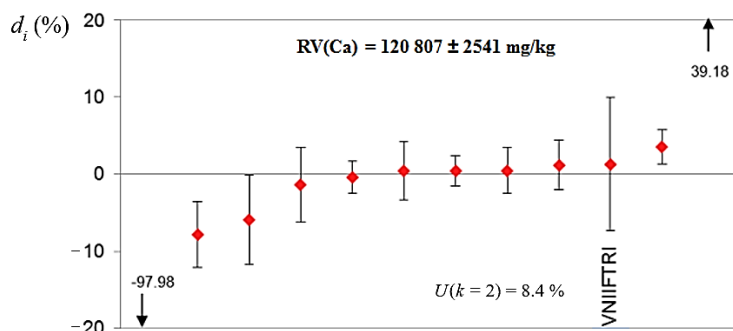


Рис. 8. Степень эквивалентности результатов измерений
APMP.QM-S10 по массовой доле кальция

Fig. 8. Degree of equivalence of APMP.QM-S10 measurement results
for the mass fraction of calcium

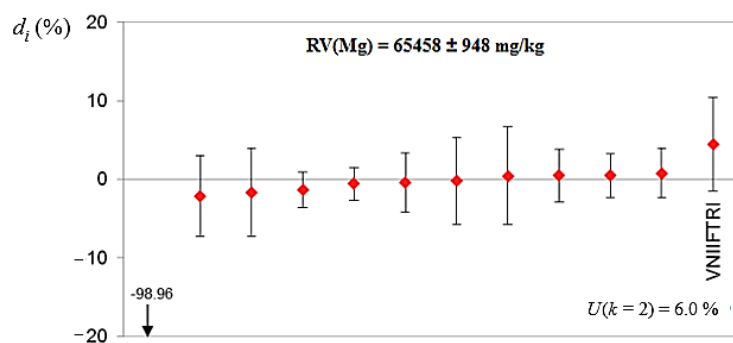


Рис. 9. Степень эквивалентности результатов измерений
APMP.QM-S10 по массовой доле магния

Fig. 9. Degree of equivalence of APMP.QM-S10 measurement results
for the mass fraction of magnesium

Результаты измерений массовой доли марганца, кальция и магния в БАДах на ГЭТ 217 (см. рис. 7–9) согласуются с опорными значениями сличения АРМР.QM-S10 в рамках заявленных неопределённостей. Полученные результаты свидетельствуют об эквивалентности измерительных возможностей ГЭТ 217 на международном уровне.

Чтобы обеспечить сопоставимость и прослеживаемость результатов измерений массовой доли неорганических элементов в речной воде, было организовано сличение EURAMET.QM-S11. Его координаторы — Совет по научно-техническим исследованиям Турции (Scientific and Technological Research Council of Türkiye, TÜBİTAK) и Институт метрологии Боснии и Герцеговины (Institute of Metrology of Bosnia and Herzegovina, IMBiH) — направили участникам образцы речной воды для измерения содержания в них неорганических элементов.

Контроль содержания свинца и мышьяка в речной воде — важная составляющая экологического мониторинга, поскольку оба элемента относятся к высокотоксичным веществам, способным накапливаться в живых организмах. Их попадание в водоёмы происходит как вследствие природных процессов (выветривание горных пород, эрозия почв), так и в результате антропогенной деятельности. Даже микроскопические концентрации Pb и As представляют угрозу: свинец нарушает работу нервной системы и кроветворных органов, а мышьяк обладает канцерогенным и мутагенным действием. Для защиты здоровья населения и водных экосистем установлены жёсткие нормативы [15], [16].

Измерения массовой доли свинца и мышьяка проводили методом стандартных добавок с использованием внутреннего стандарта на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой из состава эталона ГЭТ 217. Применение метода стандартных добавок совместно с внутренним стандартом обеспечило существенное улучшение точности и воспроизводимости аналитических данных. Методика предполагает введение в образец точно измеренных количеств стандарта (определяемого элемента), что позволяет корректно учитывать влияние матрицы пробы и присутствующих в ней сопутствующих компонентов.

Степени эквивалентности результатов измерений EURAMET.QM-S11 приведены на рис. 10 и 11. На каждом рисунке нулевая линия выступает в качестве опорного значения, которое рассчитано на основе анализа всего массива данных, собранных от участников сличений после удаления выбросов в соответствии с рекомендациями КККВ МБМВ.

Результаты измерений массовой доли свинца и мышьяка в речной воде на ГЭТ 217 (см. рис. 10 и 11) согласуются с опорными значениями сличения EURAMET.QM-S11 в рамках заявленных неопределённостей. Полученные результаты свидетельствуют об эквивалентности измерительных возможностей ГЭТ 217 на международном уровне.

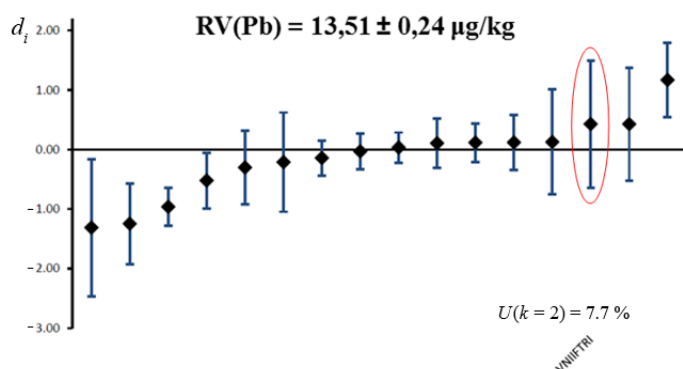


Рис. 10. Степень эквивалентности результатов измерений EURAMET.QM-S11 по массовой доле свинца

Fig. 10. Degree of equivalence of EURAMET.QM-S11 measurement results for the mass fraction of lead

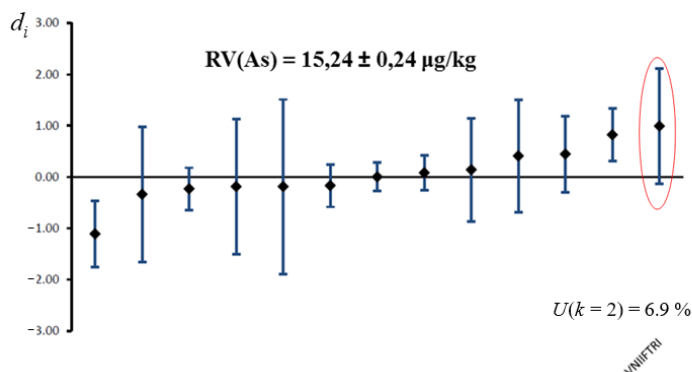


Рис. 11. Степень эквивалентности результатов измерений EURAMET.QM-S11 по массовой доле мышьяка

Fig. 11. Degree of equivalence of EURAMET.QM-S11 measurement results for the mass fraction of arsenic

Результаты измерений ВНИИФТРИ в ходе проведённых ключевых и дополнительных сличений согласуются с опорными значениями в пределах заявленных неопределённостей измерений. Метрологические характеристики государственного первичного эталона ГЭТ 217 подтверждены на современном международном уровне и не уступают аналогичным эталонам ведущих метрологических лабораторий зарубежных стран, а техническое оснащение эталона и квалификация персонала соответствуют уровню передовых стран. В настоящее время в KCDB BIPM опубликованы 8 строк СМС, что обеспечивает международное признание измерительных возможностей ГЭТ 217 в рамках Соглашения о взаимном признании национальных эталонов и сертификатов калибровки и измерений, выдаваемых национальными метрологическими институтами (International Committee for Weights and Measures Mutual Recognition Arrangement, CIPM MRA).

Финансирование. Международные сличения проводились в рамках соглашения о предоставлении субсидии на «Проведение сличений государственных первичных эталонов единиц величин с эталонами единиц величин Международного бюро мер и весов и национальными эталонами единиц величин иностранных государств».

Вклад авторов. Т.П. Шерemet: проведение экспериментов, получение экспериментальных данных, разработка методики приготовления и измерений, сбор литературных данных. А.А. Стахеев: концепция исследования, определение замысла статьи, анализ и доработка текста.

Конфликт интересов. Материал статьи подготовлен на основе доклада, представленного на VII Международной научной конференции «Стандартные образцы в измерениях и технологиях» (Ярославль, 2–5 сентября 2025 года). Статья допущена к публикации после доработки материалов тезисов доклада, оформления статьи и проведения процедуры рецензирования.

Funding. International comparisons were carried out within the framework of an agreement on grant provision for “Conducting comparisons of national primary measurement standards of units of quantities with the standards of the International Bureau of Weights and Measures and the national standards of units of quantities of foreign states”.

Contribution of the authors. T.P. Sheremet: experiment execution and data acquisition, methodology development for preparation and measurement, literature review. A.A. Stakheev: conceptualization of the study, defining the manuscript’s scope, text analysis and refinement.

Conflict of interests. This article is based on a presentation at the VII International Scientific Conference “Reference Materials in Measurements and Technologies”, Yaroslavl, Russia, 2–5 September 2025. It was accepted for publication after revision of the abstract, manuscript formatting, and peer review.

Список источников

1. Гусев Л.Ю., Стахеев А.А. О единстве измерения в области масс-спектрометрии // Альманах современной метрологии. 2016. № 6. С. 49–52. EDN: WIQKKX.
2. Yang L., Nadeau K., Gedara P. et al. Final report of the SIM.QM-S7 supplementary comparison, trace metals in drinking water // Metrologia. 2018. V. 55. № 1A. 08002. <http://doi.org/10.1088/0026-1394/55/1A/08002>.
3. Ma L.D., Wang Q., Wei C. et al. Measurement of heavy metals and organo-tin in leather powder // Metrologia. 2018. V. 55. № 1A. 08020. <http://doi.org/10.1088/0026-1394/55/1A/08020>.
4. Hatamleh N., Puelles M., Lozano H. et al. Final report on APMP.QM-S10: elements in food supplement // Metrologia. 2019. V. 56. № 1A. 08009. <http://doi.org/10.1088/0026-1394/56/1A/08009>.
5. Can S.Z., Engin B.A., İşleyen A. et al. Determination of elements in river water // Metrologia. 2023. V. 60. № 1A. 08001. <http://doi.org/10.1088/0026-1394/60/1A/08001/>.
6. Антонов В.Г., Жерегеля С.Н., Карпищенко А.И., Минаева Л.В. Водно-электролитный обмен и его нарушения: руководство для врачей / под ред. А.И. Карпищенко. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2019. 240 с.
7. Надеенко В.Г., Борзунова Е.А., Селякина К.П., Ленченко В.Г., Петрова Н.Н. К нормированию меди в питьевой воде // Гигиена и санитария. 1980. № 7. С. 8–10.

8. Полякова Е.В. Стронцийсодержащие воды Юго-Восточного Беломорья / отв. ред. А.И. Малов. Екатеринбург: РАН, УрО, Ин-т экол. проблем Севера, 2009. 102 с.
9. Столбоушкина Т.П., Стахеев А.А. Чистота лабораторной посуды — залог достоверных и точных измерений // Альманах современной метрологии. 2018. № 2 (14). С. 201–205. EDN: KZDHXY.
10. Нарожных К.Н., Коновалова Т.В., Миллер И.С. и др. Межвидовые различия по концентрации тяжёлых металлов в производных кожи животных // Фундаментальные исследования. 2015. № 2-26. С. 5815–5819. EDN: UBHQZZ.
11. Тиво П.В., Бычко И.Г. Тяжёлые металлы и экология: учеб. пособие. Минск: БГТУ, 2018. 184 с.
12. Кайсинова Р.З., Неёлова О.В. Биологическая роль кальция и обнаружение его в кальцийсодержащих лекарственных препаратах // Успехи современного естествознания. 2011. № 8. С. 225. EDN: OCRVAZ.
13. Гурциева Д.А., Неёлова О.В. Биологическая роль магния и применение его соединений в медицине // Успехи современного естествознания. 2014. № 8. С. 165–166. EDN: SEJRTN.
14. Тменова А.О., Кубалова Л.М. Биологическая роль марганца и его соединений // Современные наукоёмкие технологии. 2014. № 7–2. С. 92. EDN: SALSHZ.
15. Корженевский Б.И., Толкачев Г.Ю., Коломийцев Н.В. Мониторинг тяжёлых металлов и мышьяка в донных отложениях водных объектов // Мелиорация и водное хозяйство. 2020. № 5. С. 53–57. EDN: WFJKCK.
16. Волкова И.В., Нгуен Тхи Тхуи Ньунг. К вопросу о накоплении тяжёлых металлов (Pb, Hg, As) в компонентах водных экосистем устьевой области реки Красная (Хонгха) (Вьетнам) // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2018. № 1. С. 132–140. EDN: YSOZMY. <http://doi.org/10.24143/2073-5529-2018-1-132-140>.

References

1. Gusev L.Yu., Stakheev A.A. On the uniformity of measurements in the field of mass spectrometry. *Almanac of Modern Metrology*. 2016; 6: 49–52. EDN: WIQKX. (In Russ.)
2. Yang L., Nadeau K., Gedara P. et al. Final report of the SIM.QM-S7 supplementary comparison, trace metals in drinking water. *Metrologia*. 2018; 55 (1A): 08002. <http://doi.org/10.1088/0026-1394/55/1A/08002>.
3. Ma L.D., Wang Q., Wei C. et al. Measurement of heavy metals and organo-tin in leather powder. *Metrologia*. 2018; 55 (1A): 08020. <http://doi.org/10.1088/0026-1394/55/1A/08020>.
4. Hatamleh N., Puellas M., Lozano H. et al. Final report on APMP.QM-S10: elements in food supplement. *Metrologia*. 2019; 56 (1A): 08009. <http://doi.org/10.1088/0026-1394/56/1A/08009>.
5. Can S.Z., Engin B.A., İşleyen A. et al. Determination of elements in river water. *Metrologia*. 2023; 60 (1A): 08001. <http://doi.org/10.1088/0026-1394/60/1A/08001/>.
6. Antonov V.G., Zheregelya S.N., Karpischenko A.I., Minaeva L.V. Water-Electrolyte Metabolism and Its Disorders: a guide for doctors / ed. A.I. Karpischenko. Moscow: GEOTAR Media; 2019. 240 p. (In Russ.)

7. Nadeenko V.G., Borzunova E.A., Seliankina K.P., Lenchenko V.G., Petrova N.N. On hygienic standards for cooper in drinking water. *Hygiene and Sanitation*. 1980; 7: 8–10. (In Russ.)
8. Polyakova E.B. Strontium-Containing Waters of the South-Eastern White Sea Region / ed. A.I. Malov. Ekaterinburg: Russian Academy of Science, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Institute of Environmental Problems of the North of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 2009. 102 p. (In Russ.)
9. Stolboushkina T.P., Stakheev A.A. Purity of glassware — a key to reliable and accurate measurements. *Almanac of Modern Metrology*. 2018; 2 (14): 201–205. EDN: KZDHXY. (In Russ.)
10. Narozhnykh K.N., Konovalova T.V., Miller I.S., Strizhkova M.V., Zayko O.A., Nazarenko A.B. Interspecies differences in concentration of heavy metals in derivatives of animal skin. *Fundamental Research*. 2015; 2-26: 5815–5819. EDN: UBHQZZ. (In Russ.)
11. Tivo P.V., Bytsko I.G. Heavy Metals and Ecology: study guide. Minsk: BSTU; 2018. 184 p. (In Russ.)
12. Kaisinova R.Z., Neyolova O.V. The biological role of calcium and its detection in calcium-containing medicinal products. *Advances in Current Natural Sciences*. 2011; 8: 225. EDN: OCRVAZ. (In Russ.)
13. Gurtsieva D.A., Neyolova O.V. The biological role of magnesium and the use of its compounds in medicine. *Advances in Current Natural Sciences*. 2014; 8: 165–166. EDN: SEJRTH. (In Russ.)
14. Tmenova A.O., Kubalova L.M. Biological role of manganese and its compounds. *Modern High Technologies*. 2014; 7–2: 92. EDN: SALSHZ. (In Russ.)
15. Korzhenevsky B.I., Tolkachev G.Yu., Kolomiycsev N.V. Monitoring of heavy metals and arsenic in bottom sediments of water bodies. *Melioration and Water Management*. 2020; 5: 53–57. EDN: WFJKCK. (In Russ.)
16. Volkova I.V., Nguyen Thi Thui Nhung. To the question of accumulation of heavy metals (Pb, Hg, As) in the components of aquatic ecosystems of estuarine area of the Red river (Vietnam). *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2018; 1: 132–140. EDN: YSOZMY. <http://doi.org/10.24143/2073-5529-2018-1-132-140>. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 17.03.2026; одобрена после рецензирования 18.03.2026; принята к публикации 14.04.2026.

The article was submitted 17.03.2026; approved after reviewing 18.03.2026; accepted for publication 14.04.2026.