



Научная статья

2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

УДК 543.054, 543.2, 543.3, 543.61, 543.64, 542.943-92

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.025



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СЕЛЕНА В ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТАХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ

Александра Александровна Иванова<sup>1</sup>, Ксения Николаевна Мусатова<sup>2</sup>,  
Сергей Васильевич Темерев<sup>3</sup>, Игорь Викторович Индюшкин<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

<sup>1</sup> [sanimav22@gmail.com](mailto:sanimav22@gmail.com)

<sup>2</sup> [musatova.ks.88@mail.ru](mailto:musatova.ks.88@mail.ru)

<sup>3</sup> [temerev@mail.ru](mailto:temerev@mail.ru)

<sup>4</sup> Федеральное государственное учреждение здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Алтайском крае»

**Аннотация.** В работе экспериментально продемонстрированы преимущества низкотемпературных методов: инверсионной вольтамперометрии и молекулярной флуориметрии на представительных образцах природных объектов: речных взвесей, поровой воды, поверхностных водах и бутилированных водах при определении легколетучих ртутеподобных элементов. Разработана методика определения селена, в сочетании с химической подготовкой аналитического образца к инструментальному анализу. Наиболее значимы низкотемпературные инструментальные методы с жидкофазным и твердофазным концентрированием легколетучего элемента. К низкотемпературным методам химического анализа относятся методы, основанные на измерении свойств веществ при низких температурах. Отличительными особенностями низкотемпературных методов химического анализа в сравнении с высокотемпературными методами являются высокая чувствительность, поскольку они основаны на измерении очень малых изменений свойств системы при добавлении аналита – это позволяет определять даже малые количества вещества в образце; точность – низкотемпературные методы анализа обычно имеют высокую точность, поскольку они основаны на измерениях физических свойств, которые могут быть измерены с высокой точностью; селективность – низкотемпературные методы обладают высокой селективностью; простота использования – многие низкотемпературные методы просты в использовании и не требуют сложного и дорогостоящего оборудования.

**Ключевые слова:** селен, атомно-абсорбционная спектроскопия, флуориметрический метод, инверсионная вольтамперометрия, легколетучие ртутеподобные элементы, пробоподготовка, гидридный метод, борогидрид натрия.

**Благодарности:** автор выражает признательность коллегам за помощь и поддержку исследования.

**Для цитирования:** Иванова А. А., Мусатова К. Н., Темерев С. В., Индюшкин И. В. Определение содержания селена в природных объектах инструментальными методами / А. А. Иванова [и др.]. // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 169 – 175. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.025, EDN: <https://elibrary.ru/MIIVOVJ>.

Original article

## DETERMINATION OF SELENIUM CONTENT IN NATURAL OBJECTS BY INSTRUMENTAL METHODS

Alexandra A. Ivanova<sup>1</sup>, Ksenija N. Musatova<sup>2</sup>, Sergey V. Temerev<sup>3</sup>,  
Igor V. Indjushkin<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Altai State University, Barnaul, Russia

<sup>1</sup> [sanimav22@gmail.com](mailto:sanimav22@gmail.com)

<sup>2</sup> [musatova.ks.88@mail.ru](mailto:musatova.ks.88@mail.ru)

<sup>3</sup> [temerev@mail.ru](mailto:temerev@mail.ru)

<sup>4</sup> Federal State Healthcare Institution "Center of Hygiene and Epidemiology in the Altai Territory"

© Иванова А. А., Мусатова К. Н., Темерев С. В., Индюшкин И. В., 2024

**Abstract.** *The research experimentally demonstrates the advantages of low-temperature methods: inversion voltammetry and molecular fluorimetry on representative samples of natural objects: river suspensions, pore waters, surface waters and bottled waters in the determination of volatile mercury-like elements. A method for the determination of selenium has been developed, in combination with the chemical preparation of an analytical sample for instrumental analysis. The most significant are low-temperature instrumental methods with liquid-phase and solid-phase concentration of a volatile element. Low-temperature methods of chemical analysis include methods based on measuring the properties of substances at low temperatures. The distinctive features of low-temperature chemical analysis methods in comparison with high-temperature methods are high sensitivity, since they are based on measuring very small changes in the properties of the system when adding an analyte – this allows you to determine even small amounts of matter in the sample; accuracy - low-temperature analysis methods usually have high accuracy, since they are based on measurements of physical properties that can be measured with high accuracy; selectivity - low-temperature methods have high selectivity; ease of use - many low-temperature methods are easy to use and do not require complex and expensive equipment.*

**Keywords:** *selenium, atomic absorption spectroscopy, fluorimetric method, inversion voltammetry, volatile mercury-like elements, sample preparation, hydride method, sodium borohydride.*

**Acknowledgements:** *the author expresses gratitude to her collages for their help and support of the research.*

**For citation:** Ivanova A.A., Musatova K.N., Temerev S.V. & Indjushkin I.V. (2023). Determination of selenium in natural objects by instrumental methods. *Polzunovskiy vestnik.* (3), 169-175. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.025. EDN: [https://elibrary.ru/MIIVOJ\\_](https://elibrary.ru/MIIVOJ_).

## ВВЕДЕНИЕ

Селен – один из важнейших микроэлементов, необходимым организму человека [1]. В основном функции селеносодержащих белков сводятся к предотвращению развития окислительного стресса и уменьшению воспалительного процесса, провоцирующего развитие сердечно-сосудистых патологий [2].

Большинство соединений селена относятся к высокотоксичным веществам, наблюдения за которыми обязательны во всех средах человеческой деятельности.

При исследовании компонентов экосистем микроэлементы необходимо концентрировать, т.к. кларки легколетучих элементов близки к следовому содержанию. Как правило подготовка образцов к анализу инструментальными методами предполагает предварительное экстракционное, либо твердофазное концентрирование.

Определение низких или следовых содержаний требует тщательной подготовки аналитического образца, строгого соблюдения методик разделения и концентрирования мешающего влияния матричных компонентов при регистрации аналитических сигналов легколетучих ртуте-подобных элементов (As, Sb, Sn, Bi, Se и др.) В случае химического анализа сложных природных объектов, следует соблюдать: особую тщательность в подготовке образцов; высокие требования к выбору метода химического анализа летучих, гидридообразующих элементов (As, Sb, Sn, Bi, Se и др.), метрологию повышения достоверности итоговых результатов.

Для проведения представительного фоновое мониторинга водных экосистем, идентификации природных и антропогенных источников

поступления в них селена необходимо определять малые концентрации в интервале от 0,1 до 3 ПДКв.р. (ПДКв.р.=1 мкг/л для Se).

В связи с этим, особенно актуально выполнять массовый химико-аналитический контроль природных объектов, бутилированных вод, биологически активных добавок на наличие селена [3, 4].

Ранее проводилось исследование водных экосистем, методом инверсионной катодной вольтамперометрии с использованием графитового электрода с введением микродобавки золота, как коллектора, для извлечения селена и мышьяка [5].

В данной работе, в задачи входило создание методики определения содержания селена в природных объектах методом инверсионной катодной вольтамперометрии с использованием золотого электрода. В процессе пробоподготовки использовалось восстановление борогидридом натрия всех форм элемента с дальнейшим разделением его количества и сопоставлением результатов с другими независимыми методами.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнили на базе лабораторий кафедры техносферной безопасности и аналитической химии ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», а также под чутким руководством Индюшкина И. В. на базе лабораторий ФГУЗ ЦГиЭ в Алтайском крае.

Электрохимический анализ содержания селена выполнялся с помощью вольтамперометрического анализатора «Экотест-ВА» (Москва, Эконикс) с мешалкой, содержащим одну электрохимическую ячейку, в комплекте с установленным пакетом программ «EcotestVA (beta)». Была разработана методика определения селена методом катодной инверсионной вольтам-

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СЕЛЕНА В ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТАХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ

перометрии (табл. 1) с золотым электродом (содержание золота 99,9%) в бутилированной воде с добавки соответствующего микроэлемента.

В работе была использована трехэлектродная электрохимическая ячейка со сменным стеклянным стаканчиком. В роли вспомогательного электрода использовали платиновый электрод, а в качестве рабочего – золотой проволочный. Электродом сравнения служил хлорид серебряный электрод [6].

Таблица 1 - Параметры программы определения селена методом катодной ИВА

Table 1 - Parameters of the selenium determination program by the cathode IVA method

Параметр	Значение
Потенциал накопления	-600 мВ
Время накопления	35 с.
Скорость развертки	80 мВ/с

Время накопления определялось экспериментально посредством выявления графической зависимости концентрации элемента от времени накопления. На основе данных полученной вольтамперограммы (рис. 1) делали вывод об оптимальном времени накопления, которое составило 35 с.

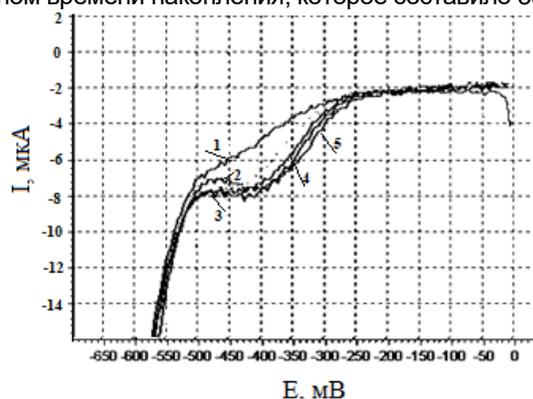
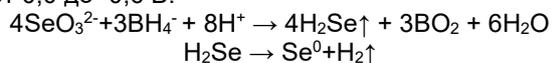


Рисунок 1 – Зависимость концентрации селена от времени накопления: 1 –  $t_{\text{нак}} = 10$  с., 2 –  $t_{\text{нак}} = 20$  с., 3 –  $t_{\text{нак}} = 30$  с., 4 –  $t_{\text{нак}} = 40$  с., 5 –  $t_{\text{нак}} = 50$  с

Figure 1 – Dependence of selenium concentration on accumulation time: 1-  $t_{\text{acc}} = 10$  s., 2 –  $t_{\text{acc}} = 20$  s., 3 –  $t_{\text{acc}} = 30$  s., 4 –  $t_{\text{acc}} = 40$  s., 5 –  $t_{\text{acc}} = 50$  s

Адсорбционное накопление селена осуществлялось в форме селенида, который катодно восстанавливается при потенциале -600 мВ относительно хлоридсеребряного электрода ( $E^0=0,222$  В) в течение 35 секунд.

После накопления регистрировали вольтамперограмму катодного электровосстановления образовавшегося в результате реакций концентрата (рис. 2), поляризуя рабочий электрод от 0,0 до -0,6 В:



На основе данных вольтамперограммы и встроенных расчетов в программе построить градуировочную зависимость площади пика

(рис. 3) и предельного тока восстановления (рис. 4) от концентрации микроэлемента.

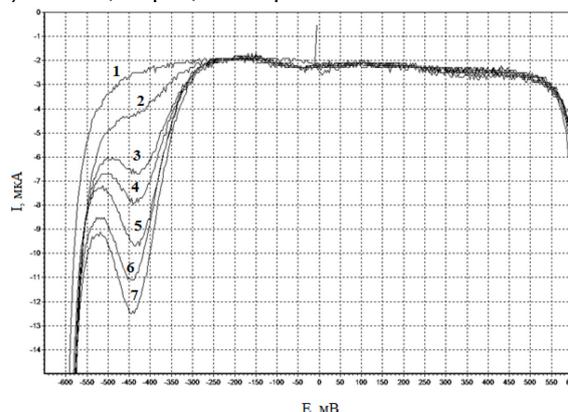


Рисунок 2 – Катодная вольтамперограмма рабочего раствора селена (IV): 1 – фон 0,1М НСl, 2 – концентрация 1 мкг/л, 3 – концентрация 3 мкг/л, 4 – концентрация 5 мкг/л, 5 – концентрация 7 мкг/л, 6 – концентрация 9 мкг/л, 7 – концентрация 10 мкг/л

Figure 2 – Cathode voltamperogram of the work of selenium (IV): 1 - background 0.1 m HCl, 2 - concentration 1 mg/l, 3 - concentration 3 mg/l, 4 - concentration 5 mg/l, 5 - concentration 7 mg/l, 6 - concentration 9 mg/l, 7 - concentration 10 mg/l

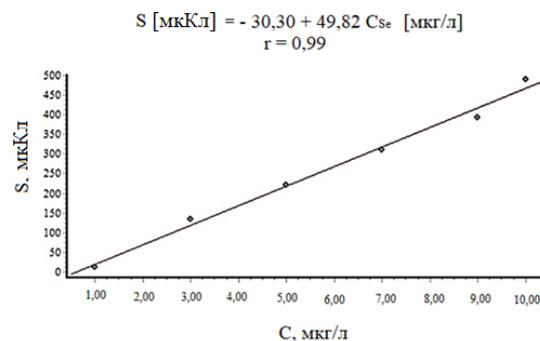


Рисунок 3 – Градуировочная зависимость площади пика от концентрации селена (IV) мкг/л

Figure 3 – Calibration dependence of the peak area on the concentration of selenium (IV) mcg/l

Для определения содержания селена (IV) в бутилированной воде в первую пробирку помещали 10 мл пробы воды, подкисляли 4,7 мл 0,1М соляной кислотой и добавляли 0,3 мл щелочного раствора борогидрида натрия (3%-ый раствор  $\text{NaBH}_4$  в 1%-м растворе  $\text{NaOH}$ ); во вторую – 10 мл исследуемой воды, 1,5 мл раствора селена концентрации 50 мкг/мл (с итоговой концентрацией добавки 5 мкг/мл), 3,2 мл 0,1М соляной кислоты и 0,3 мл восстановителя.

После добавления восстановителя смесь выдерживали в течение 15 минут в закрытом сосуде, а затем регистрировали вольтамперограммы, сначала для «холостой» пробы, затем анализируемого образца методом добавок селена (IV) [7], приготовленным из ГСО.

Атомно-абсорбционное определение содержания селена в пробах с электротермической атомизацией элемента выполняли на двухлучевом атомно-абсорбционном спектрофотометре SHIMADZU AA-7000 (Япония) для пламенного и электротермического атомно-абсорбционного анализа.

$$I_{\text{мкА}} = -0,10 + 0,54 C_{\text{Se}} \text{ [мкг/л]}$$

$$r = 0,99$$

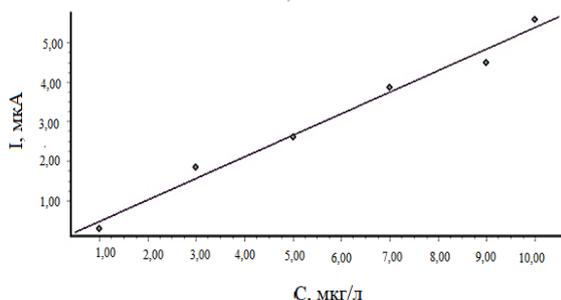


Рисунок 4 – Градуировочная зависимость предельного тока восстановления от концентрации селена (IV) мкг/л

Figure 4 – Calibration dependence of the limiting recovery current on the concentration of selenium (IV) mcg/l

При оптическом анализе растворов следует количественно перенести, используя автоматический микродозатор, в кювету, в последующем подвергаемую импульсному нагреву в атмосфере инертного аргона. Для обеспечения правильности определения в графитовый атомизатор одновременно с анализируемой пробой вносятся химические модификаторы, которые позволяют устранить или резко снизить матричное влияние. В данном случае в качестве модификатора используется добавка палладия. Далее измеряется величина атомного поглощения [8] в следствии образовавшихся атомов селена.

Для использования графитовой кюветы в роли атомизатора требуется вносить корректировки [9] неселективного поглощения, достигающих дейтериевым корректором фона. Неселективное поглощение образуется в результате светорассеяния дымом и устремляющимися из материала частицами, что достигается за счет применения дейтериевого корректора фона.

Определение селена атомно-абсорбционным методом может быть затруднена из-за спектрального диапазона элемента. Спектральная полоса поглощения селена находится близко к крайним значениям дифракционной решетки прибора.

Сущность метода заключается в атомно-абсорбционном определении селена, полученного термическим разложением.

Определение проводили при длине волны 196,07 нм (рис. 5) с шириной спектральной щели 1,0 нм.

Для проведения анализа в графитовую кювету с помощью автодозатора последовательно вводили 10 мкл анализируемого раствора и 10 ррт добавки палладия. Затем растворы высушивали, озоляли и атомизировали в соответствии с

условиями, заложенными в программе, а именно – источник излучения – безэлектродная лампа с полым катодом; ширина спектральной щели 1,0 нм; длина волны 196,07 нм; температура 2200°C. В ходе работы производили по 2 параллельных определения растворов: холстой и проба. Во время анализа регистрировали массовую концентрацию элемента в анализируемом растворе и атомное поглощение для каждого из двух параллельных определений и их среднеарифметическое значение.

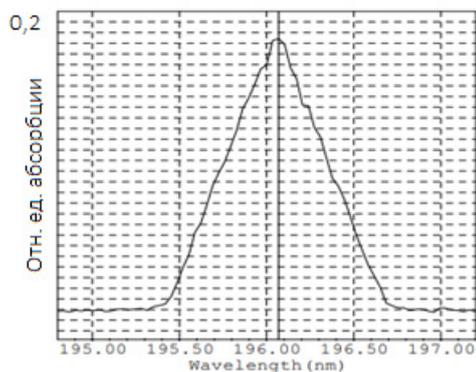


Рисунок 5 – Спектр поглощения атомарного селена

Figure 5 – Absorption spectrum of atomic selenium

По полученным данным строят градуировочный график (рис. 6) в координатах высота пика абсорбционного поглощения (мм) - концентрация селена (мкг/л).

$$\text{Abs} = 0,00 + 0,0058 C_{\text{Se}} \text{ [мкг/л]}$$

$$r = 0,99$$

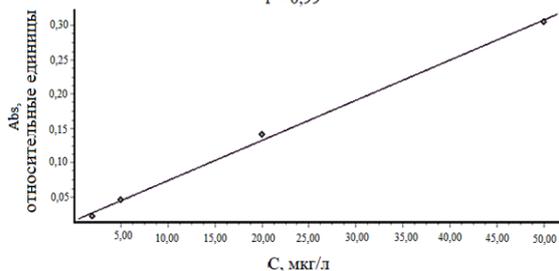


Рисунок 6 – Градуировочная зависимость величины поглощения от концентрации селена (IV)

Figure 6 – Calibration dependence of the absorption value on the concentration of selenium (IV)

Безопасный экстракционно-флуориметрический способ определения селена [10] в воде, основан на взаимодействии селенит-иона с реактивом 2,3-диаминонафталином в кислой среде с образованием соединения 4,5-бензодиазоселенола, экстрагируемого гексаном. Это соединение при ультрафиолетовом облучении обладает желто-красной флуоресценцией, интенсивность которой измеряется флуориметром. Флуоресценцию измеряют не позже, чем через 1-2 ч.

Для анализа серия стандартных растворов

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СЕЛЕНА В ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТАХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ

селена готовится из ГСО путём многократного разбавления. Для построения градуировочного графика в градуированную пробирку с притёртой крышкой на 25,0 мл помещают 1,00; 2,00; 3,00; 4,00; 5,00 мл стандартного раствора Se, содержащего 0,0001 мкг селена в 1,00 мл (0,2; 0,3; 0,4; 0,5 мкг селена), доливают до 25,0 мл 0,1 моль/л соляной кислотой.

К анализируемому раствору объемом 20,0 мл добавляют 0,40 мл раствора 3%-ного щелочного борогидрида натрия восстановителя, закрывают пробкой, встряхивают и оставляют на 5 мин для восстановления всех форм селена до селеноводорода, затем прибавляют 2,00 мл 2,3-диаминонафталина с массовой долей 0,1% и затем образовавшийся 4,5-бензодиазо-селенола, экстрагируют гексаном. Добавляют порциями по 2 мл гексана и встряхивают по 1 мин, переносят в делительную воронку для расслаивания и разделения фаз, переносят на фильтр и фильтруют в пробирку с предыдущей порцией, поочередно 4-5 раз экстракций для количественного извлечения.

Затем объединенный экстракт флуориметрируют с помощью «Флюорат-02-3М» с соответствующими светофильтрами: 11 (385-460 нм, канал возбуждения), 5 (510-580 нм, канал регистрации).

Строят график, откладывая по оси абсцисс содержание Se в растворах, по оси ординат - величину флуоресценции этих растворов.

Для каждой партии проб ведут «холостой» опыт по всему ходу анализа; полученную величину вычитают из результата определения при расчете содержания элемента.

В таблице 2 представлены результаты измерения средних величин интенсивности флуоресценции экстрактов, приготовленных из стандартного раствора Se.

По графику зависимости величины поглощения от концентрации селена рассчитывали концентрацию микроэлемента в анализируемых образцах природных объектов.

Таблица 2 - Результаты измерения интенсивности I флуоресценции концентратов гидрида селена с 2,3-диаминонафталина в гексане

Table 2 - Results of measuring the intensity of I fluorescence of selenium hydride concentrates with 2,3-diaminonaphthalene in hexane

Концентрация селена, мкг/мл	Интенсивность I, отн. ед.
0,0018	0,2705
0,0036	0,3181
0,0054	0,3851
0,0072	0,5169
0,0090	0,6325

Градуировочный график представлен на рисунке 7.

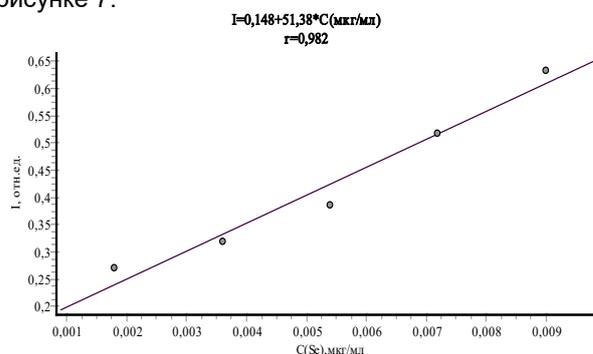


Рисунок 7 – Градуировочная зависимость интенсивности флуоресценции от концентрации селена  
Figure 7 – Calibration dependence of fluorescence intensity on selenium concentration

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

После получения вольтамперограмм встроенными средствами, предусмотренными прикладным программным обеспечением, производили расчет содержания селена в пробе по экспериментально определенным значениям высоты катодных пиков с указанием объема добавки аттестованной смеси селена и его концентрации, а также объема анализируемой смеси.

Таблица 3 – Результаты количественного определения селена (IV) в природных объектах (взвешенные вещества, бутилированные воды) методами атомно-абсорбционной спектроскопии и инверсионно-вольтамперометрическим

Table 3 – Results of quantitative determination of selenium (IV) in natural objects (suspended solids, bottled water) by atomic absorption spectroscopy and inversion-voltammetric

Объект	№ р-ра	Метод ААС ( $\bar{S}e \pm \varepsilon_a$ ), мкг/л	Метод ИВА ( $\bar{S}e \pm \varepsilon_a$ ), мкг/л
		3	4
Взвешенные вещества речной воды Барнаулки	1	0,2±0,1	0,3±0,1
	2	0,07±0,03	0,10±0,05
	3	0,2±0,1	0,27±0,09
	4	0,5±0,2	0,5±0,1
	5	0,09±0,03	0,11±0,06
	6	0,10±0,05	0,07±0,03
Бутилированные воды	1	4,6±0,4	4,7±0,2
	2	5,4±0,4	5,4±0,2
	3	8,2±0,3	8,0±0,2
	4	11,9±0,3	11,8±0,2
	5	4,3±0,3	4,1±0,2
	6	0,07±0,04	0,06±0,02
	7	10,2±0,3	10,1±0,2

Таблица 4 – Результаты количественного определения селена в природных объектах (поверхностные воды, поровая вода) методами ААС и ИВА

Table 4 – Results of quantitative determination of selenium in natural objects (surface waters, pore water) by AAS and IVA methods

Объект	№ р-ра	Метод ААС $\langle \bar{Se} \pm \varepsilon_{\alpha} \rangle$ , мкг/л	Метод ИВА $\langle \bar{Se} \pm \varepsilon_{\alpha} \rangle$ , мкг/л
Поверхностные воды р. Барнаулки	1	-	<0,004
	2	-	0,07±0,04
	3	-	±<0,04
	4	-	±<0,04
	5	-	0,09±0,04
	6	-	<0,04
Поровая вода р. Барнаулки	1	0,06±0,02	0,07±0,03
	2	0,13±0,06	0,07±0,01
	3	<0,04	<0,01
	4	0,18±0,08	0,12±0,09
	5	0,10±0,03	0,08±0,03
	6	0,10±0,07	0,05±0,02

Таблица 5 – Результаты количественного определения селена методами атомно-абсорбционной спектроскопии, безопасным экстракционно-флуориметрическим и инверсионно-вольтамперометрическим

Table 5 – Results of quantitative determination of selenium by atomic absorption spectroscopy, safe extraction-fluorimetric and inversion-voltammetric

Наименование воды	Метод ААС $\langle \bar{Se} \pm \varepsilon_{\alpha} \rangle$ , мкг/л	Метод Э-Ф $\langle \bar{Se} \pm \varepsilon_{\alpha} \rangle$ , мкг/л	Метод ИВА $\langle \bar{Se} \pm \varepsilon_{\alpha} \rangle$ , мкг/л
Легенда жизни «Бизнес» с селеном	4,6±0,4	4,7±0,3	4,7±0,2
Легенда жизни «Йод, фтор, селен»	5,4±0,4	5,3±0,2	5,4±0,2
Легенда жизни «Цинк, селен»	8,2±0,3	8,1±0,3	8,0±0,2
Stelmas «Цинк, селен»	11,9±0,3	12,0±0,3	11,8±0,2
Платоновская усадьба	4,3±0,3	4,4±0,2	4,1±0,2
Алтайка питьевая вода из Белокурихи	0,07±0,04	0,06±0,02	0,06±0,02
Синеводье «Йод, фтор, селен»	10,2±0,3	10,2±0,1	10,1±0,2

Ранее проводились исследование природных объектов (взвешенные вещества, поверхностные воды, поровая вода) двумя независимыми методами. Результаты определений Se в образцах природных объектов, произведенных ранее, представлены в таблицах 3, 4 [11], а в таблице 5 – определения, произведенные в настоящее время.

Для достоверного химического мониторинга природных объектов были выбраны три независимых инструментальных метода вольтамперометрический атомно-абсорбционный и безопасный экстракционно-флуориметрический.

Разработана методика катодной сорбционной вольтамперометрии с накоплением и катодной разверткой потенциала, и регистрацией аналитического сигнала гидрида селена в области потенциалов -250...-525 мВ отн. ХСЭ с предварительным химическим восстановлением всех форм селена борогидридом.

Накапливание аналита на поверхности проволочного золотого электрода проводят при по-

стоянном значении потенциала -0,600 мВ в течение 35 секунд. Золото обладает сродством к селену, образует ряд химических, в том числе интерметаллических соединений с селеном. Поэтому требуется короткое время накопления 35 с для сорбции и электроконцентрирования селеноводорода на поверхности и вблизи рабочего электрода. После накопления в течение 35 с регистрируют аналитический сигнал катодного пика при потенциале -600 мВ и в программе автоматически рассчитывали по границам пика содержание селена в пробе.

Для подтверждения правильности методики в аккредитованной лаборатории Центра гигиены и эпидемиологии в Алтайском крае дополнительно выполнены определения тех же образцов атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизации (ЭТААС).

Сравнительный анализ результатов двух независимых методов (низкотемпературного и высокотемпературного) в сочетании с гидридной пробоподготовкой одних и тех же образцов: речных взве-

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СЕЛЕНА В ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТАХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ

сей, поровой воды, поверхностных вод и бутилированных вод с добавками микроэлементов, подтверждает статистически незначимые различия представленных результатов определения селена.

Метод вольтамперометрии, как низкотемпературный многоэлементный, позволяющий определять, как металлы, так и неметаллы не уступает по своим аналитическим возможностям значительно более дорогому методу атомной спектроскопии. Важнейшим практическим итогом нашего исследования следует признать применение на практике отечественного приборного парка: российских вольтамперометрических анализаторов (Томск, Москва), молекулярных флуориметров группа компаний «Льюмэкс» (СПб). Недорогие, но эффективные отечественные анализаторы в сочетании с экстракционным и твердофазным концентрированием легколетучих ртутеподобных элементов и восстановлением всех форм элементов до гидридов позволяют улучшить процедуру химического анализа легколетучих ртутеподобных элементов в природных объектах.

### ВЫВОДЫ

1. Разработана методика определения селена методом сорбционной катодной вольтамперометрии.
2. Правильность методики подтверждена независимыми методами: атомно-абсорбционным, экстракционно-флуориметрическим.
3. В результате выполненных определений Se в аналитических образцах природных объектов продемонстрировано важное значение химической обработки объекта, а именно экстракционное и твердофазное концентрирование в сочетании низкотемпературным методом химического анализа.
4. Экстракционное концентрирование сочетается не только с атомной, но и молекулярной абсорбции и флуоресценцией.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тутельян В.А. Селен в организме человека. Метаболизм. Антиоксидантные свойства. Роль в канцерогенезе / В.А. Тутельян, [и др.] – М.: Изд-во РАМН, 2002. – 201 с.
2. Аникина Л. В. Se: Экология, патология, коррекция: [Монография] / Л. В. Аникина, Л. П. Никитина. – Чита, 2002. – 398 с.
3. Сенькевич О.А., Ковальский Ю.Г., Голубкина Н.А. Мониторинг содержания селена в некоторых пищевых продуктах Хабаровска // Вопросы питания. 2018. Т. 87. №6. С. 89-94.
4. Ермаков В.В., Ковальский В.В. Биологическое значение селена. М.: Наука, 1974. 300 с.
5. Пат. 2302628 Российская федерация, МПК G01N

27/48 (2006.01). Электрохимический способ определения селена и мышьяка в природных объектах / С. В. Темерев, В. Е. Маслакова; патентообладатель Алтайский государственный университет. – № 2005137499/28; заявл. 01.12.2005; опубл. 10.07.2007, Бюл. № 19. – 11 с.

6. Основы аналитической химии: в 2 т. Т. 2: учеб. для студ. учреждений высш. проф. образования / Н.В. Алов [и др.]; под ред. Ю.А. Золотова. – 5-е изд. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 416 с.

7. Темерев С. В. Вольтамперометрическое определение микроэлементов после генерации их гидридов // Материалы IV Международной научной конференции «Химия, химическая технология и биотехнология на рубеже тысячелетий» 11 – 16 сентября 2006, Т. 2. Томск: изд-во ТПУ, 2006. С.305-306.

8. Основы методов атомно-абсорбционной и атомно-эмиссионной спектроскопии: учеб.-метод. пособие / В. Н. Беляцкий. – Минск: БГМУ, 2015 – 40 с.

9. Б.В. Львов. Атомно-абсорбционный анализ / Б.В. Львов. – М.: Наука, 1966. – 392 с.

10. Пат. 2597769 Российская федерация, МПК G01N 33/00 (2006.01), G01N 33/18 (2006.01). Безопасный экстракционно-флуориметрический способ определения селена в воде / С. В. Темерев, Е. С. Яценко; патентообладатель Алтайский государственный университет. – № 2015113633/15; заявл. 13.04.2015; опубл. 20.09.2016, Бюл. № 26. – 9 с.

11. Темерев С. В. Тяжелые металлы в поверхностных водах бассейна реки Обь : [Монография] / В. М. Савкин, С. В. Темерев. – Изд-во: АлтГУ, 2006. – 336 с.

### Информация об авторах

*А. А. Иванова – магистрант кафедры «Техносферной безопасности и аналитической химии» Алтайского государственного университета.*

*К. Н. Мусатова – заведующий лабораторией кафедры техносферной безопасности и аналитической химии, аспирант.*

*С. В. Темерев – заведующий кафедрой техносферной безопасности и аналитической химии, доктор химических наук, доцент.*

*И. В. Индюшкин – кандидат химических наук, врач по санитарно-гигиеническим лабораторным исследованиям Федерального государственного учреждения здравоохранения "Центр гигиены и эпидемиологии в Алтайском крае".*

### Information about the authors

*A. A. Ivanova – master's student of the Department of "Techno-Sphere Security and Analytical Chemistry" of Altai State University.*

*K. N. Musatova – head of the Laboratory of the Department of Techno-Sphere Safety and Analytical Chemistry, postgraduate student.*

*S. V. Temerev – head of the Department of Techno-Sphere Security and Analytical Chemistry, Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor.*

*I. V. Indyushkin – candidate of Chemical Sciences, Doctor of sanitary and hygienic laboratory studies of the Federal State Health Institution "Center of Hygiene and Epidemiology in the Altai Territory".*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 25 мая 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.*

*The article was received by the editorial board on 25 May 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.*