

Научная статья

УДК 543.423.1

doi: 10.17223/24135542/28/5

## **Химические ритмы концентрационных колебаний элементного состава живых организмов**

**Владимир Ильич Отмахов<sup>1</sup>, Юрий Сергеевич Саркисов<sup>2</sup>,  
Анастасия Валерьевна Обухова<sup>3</sup>, Алёна Евгеньевна Янюк<sup>4</sup>,  
Елена Васильевна Петрова<sup>5</sup>**

*1, 3, 4, 5 Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
Томск, Россия*

*2 Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск, Россия*

*<sup>1</sup> otmahov2004@mail.ru*

*<sup>2</sup> sarkisov@tsuab.ru*

*<sup>3</sup> obukhova20101995@gmail.com*

*<sup>4</sup> bloom201328@mail.ru*

*<sup>5</sup> elena1207@sibmail.com*

**Аннотация.** Рассмотрены концентрационные колебания содержания химических элементов в живых объектах, отражающие периодичность свойств атомов с возрастанием их порядкового номера, согласно Периодическому закону Д.И. Менделеева. Использование Периодического закона в самых различных сферах науки и техники находит все более широкое применение. Особый интерес вызывает построение периодических зависимостей изменения тех или иных параметров исследуемых систем с возрастанием порядкового номера элемента, определяющего их устройство и организацию, а также прогнозирование на этой основе свойств и их поведения при взаимодействии с другими системами. Установление периодических закономерностей распределения химических элементов в живых организмах является наиболее актуальной задачей современной биологической науки. Объектами исследования в данной работе были волосы человека, волоссяной покров животных, наземная часть растений, чешуя рыб и перья птиц. Отбор проб осуществлялся в районах Томской области. Исследования проводились в лаборатории «Мониторинга окружающей среды», входящей в состав Томского регионального центра коллективного пользования НИ ТГУ. Для проведения анализов использован спектрометр «Гранд» с многоканальным анализатором эмиссионных спектров (МАЭС). Установлены новые закономерности в распределении химических элементов в биологических системах. Показано, что периодические закономерности изменения химического состава живого мира в целом носят однотипный характер. Выделены три основных зоны химических ритмов распределения элементов для всех изученных живых объектов, в среднем ограниченных тем или иным S-элементом. Первая зона находится в диапазоне от водорода до кальция; вторая – от кальция до стронция, третья – от стронция до бария. При этом амплитуда концентрационных колебаний с увеличением порядкового номера элемента постоянно уменьшается по близкому к экспоненциальному

закону. Однако в третьей зоне наблюдается характерный провал, который, по-видимому, объясняется эколого-климатическими факторами среды обитания.

**Ключевые слова:** Периодический закон, живая материя, химические элементы, волосы человека, волосяной покров животных, поверхностный слой растений, плазменно-дуговой спектральный анализ, зольный остаток, среда обитания

**Для цитирования:** Отмаков В.И., Саркисов Ю.С., Обухова А.В., Янюк А.Е., Петрова Е.В. Химические ритмы концентрационных колебаний элементного состава живых организмов // Вестник Томского государственного университета. Химия. 2022. № 28. С. 54–64. doi: 10.17223/24135542/28/5

Original article

doi: 10.17223/24135542/28/5

## **Chemical variations of concentration fluctuations in the elemental composition of living organisms**

**Vladimir I. Otmakhov<sup>1</sup>, Yury S. Sarkisov<sup>2</sup>, Anastasia V. Obukhova<sup>3</sup>,  
Alena E. Yanyuk<sup>4</sup>, Elena V. Petrova<sup>5</sup>**

*<sup>1, 3, 4, 5</sup> National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia*

*<sup>2</sup> Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Tomsk, Russia*

*<sup>1</sup> otmahov2004@mail.ru*

*<sup>2</sup> sarkisov@tsuab.ru*

*<sup>3</sup> obukhovaa20101995@gmail.com*

*<sup>4</sup> bloom201328@mail.ru*

*<sup>5</sup> elena1207@sibmail.com*

**Abstract.** In this paper, concentration fluctuations in the content of chemical elements in living objects are considered. They describe the periodicity of the atoms' properties with an increase in their atomic number, according to the Periodic Law of D.I. Mendeleev. The use of the Periodic Law in various fields of science and technology is increasingly being used. The major interest is the construction of periodic dependences of changes in certain parameters of the systems under study with an increase in the atomic number of the element that determines their structure and organization, as well as the prediction on this basis of properties and their behavior when interacting with other systems. Establishing periodic patterns of distribution of chemical elements in living organisms is the most urgent task of modern biological science. The objects of study in this work were human hair, animal hair, the ground part of plants, fish scales and bird feathers. Sampling was carried out in the regions of the Tomsk region. The studies were carried out in the laboratory of "Environmental Monitoring", which is part of the Tomsk Regional Center for Collective Use of the National Research Tomsk State University. The analyzes were carried out using a Grand spectrometer with a multi-channel emission spectrum analyzer (MAES). New regularities in the distribution of chemical elements in biological systems have been established. It is shown that the periodic patterns of changes in the chemical composition of the living world as a whole are of the same type. Three main zones of chemical variations of the elements' distribution for all studied living objects are identified, on average, limited by one or another S-element. The first zone is in the range from hydrogen to calcium; the second zone

is from calcium to strontium, the third zone is from strontium to barium. In this case, the amplitude of concentration fluctuations with an increase in the atomic number of the element constantly decreases according to a close to exponential law. However, in the third zone, a characteristic dip is observed, which, apparently, is explained by ecological and climatic factors of the habitat.

**Keywords:** Periodic law, living matter, chemical elements, human hair, animal hair, surface layer of plants, plasma-arc spectral analysis, ash residue, habitat

**For citation:** Otmakhov, V.I., Sarkisov, Yu.S., Obukhova, A.V., Yanyuk, A.E., Petrova, E.V. Chemical variations of concentration fluctuations in the elemental composition of living organisms // *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Chimia – Tomsk State University Journal of Chemistry*, 2021, 28, 54–64. doi: 10.17223/24135542/28/5

## **Введение**

С точки зрения физики и химии вся костная и живая материя состоит из атомов, систематизация которых отражена в таблице Д.И. Менделеева. Общий анализ позволил заключить, что элементный состав костной материи отличается большим многообразием в зависимости от природы и геологического происхождения пород, их содержащих. Элементный состав живых организмов, независимо от их происхождения, в принципе примерно одинаков, т.е. отличается единообразием. Все отличия элементного состава живых организмов в основном сводятся к количественным изменениям их содержания.

В настоящей работе предполагалось, что концентрационные колебания содержания химических элементов в живых объектах должны отражать периодичность свойств атомов с возрастанием их порядкового номера, согласно периодическому закону Д.И. Менделеева. Периодический закон не только стал ключом к познанию тайн атомов, но и открыл принципиально новые возможности для прогнозирования свойств живого вещества самого различного происхождения. На основе предложенной систематики химических элементов удается предсказывать свойства как отдельных атомов, так и более сложных биологических структур, включая человека.

Безусловно, установление новых закономерностей распределения химических элементов в живых организмах имеет наивысшую актуальность, так как позволяет расширить представления о их роли в жизнедеятельности и эволюции как отдельных биологических объектов, так и био- и экосистем местного, регионального и планетарного масштабов.

В настоящей работе впервые выдвинута гипотеза о том, что в основе биологических ритмов функционирования живых существ лежат химические ритмы концентрационных колебаний содержания и распределения химических элементов в живых организмах.

Целью настоящей работы является установление закономерностей изменения периодических зависимостей распределения химических элементов в живых организмах представителей фауны и флоры Томской области РФ, включая человека.

## **Материалы и методика исследования**

В настоящее время существуют различные способы обнаружения химических элементов и их распределения в живых организмах [1–3]. В аккредитованной лаборатории «Мониторинга окружающей среды» (аттестат аккредитации RA.RU.21BO08 от 16.11.2017), входящей в состав Томского регионального центра коллективного пользования НИ ТГУ, разработан способ определения элементного состава биологических объектов методом дуговой атомно-эмиссионной спектрометрии путем исследования их зольных остатков [3]. Для проведения анализов использован спектрометр «Гранд» с многоканальным анализатором эмиссионных спектров (МАЭС) в комплексе с полихроматором «Роуланда» и генератором «Везувий-3» [4–7]. Данный спектральный комплекс зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений под № 33011-06 и проходит ежегодную поверку (свидетельство о поверке № 55586/203 от 07.11.2018, действительно до 07.11.2019). Рабочий спектральный диапазон от 160 до 1 100 нм, с пределами спектрального разрешения от 0,005 до 0,3 нм, диапазоном определения массовой концентрации элементов состава веществ и материалов от  $10^{-7}$  до 100%, пределом допускаемого значения среднего квадратического отклонения результатов определения массовой концентрации элементов состава веществ и материалов не более 10% и пределом допускаемого значения систематической погрешности определения массовой концентрации элементов состава веществ и материалов не более 20%.

При выполнении измерений использовали стандартные образцы состава графитового коллектора микропримесей (комплект СОГ-37) (ГСО 8487–2003) со сроком действия 60 лет [8]. Для измерений массовой концентрации элементов в золе проб волос человека, шерсти животных и растений методом атомно-эмиссионного анализа с дуговым возбуждением спектра концентрат пробы готовили следующим образом: навеску исследуемой пробы массой 1,0000–5,0000 г, взвешенную до четвертого знака, озоляли в муфельной печи при температуре 450–500°C в течение 2–3 ч, пока остатки проб не приобретали серый либо белый цвет. Чашку с зольным остатком охлаждали до температуры окружающей среды и взвешивали на аналитических весах. Затем полученный зольный остаток тщательно растирали в агатовой ступке в присутствии нескольких капель этилового спирта в течение 20–30 мин агатовым пестиком до однородной порошкообразной смеси и разбавляли графитовым порошком в 10 и 100 раз последовательно. Для анализа основных элементов использовали разбавление 1:100, для анализа примесей 1:10 [9–15].

Для регистрации спектров с помощью МАЭС использовали условия, обеспечивающие наибольшую чувствительность определений: сила тока 13 А; ширина щели 30 мкм; расстояние между электродами 0,003 м; диафрагма 0,005 м; накоплений – 160; длительность накоплений – 125 мс; полная экспозиция при регистрации спектров анализируемых проб и контрольных образцов 20 с. Для построения калибровочных графиков использовали стандартные образцы состава графитового коллектора микропримесей (комплект СОГ-37) ГСО 8487–2003.

По градировочным графикам, построенным с помощью стандартных образцов в координатах  $\lg I - \lg C$ , экспериментально находили массовую концентрацию (мкг/г) определяемых элементов в трех холостых пробах ( $C_{\text{хол}}$ , мкг/г), а также в трех концентрататах проб исследуемых объектов ( $C_{\text{изм}}$ , мкг/г). Окончательный расчет массовой концентрации в анализируемых пробах проводили по формуле:

$$C = \eta \frac{(C_{\text{изм}} - C_{\text{хол}})q}{Q}, \quad (1)$$

где  $C_{\text{изм}}$  – массовая концентрация определяемого элемента в концентрате анализируемой пробы, мкг/г,  $C_{\text{хол}}$  – массовая концентрация определяемого элемента в концентрате холостой пробы, мкг/г,  $q$  – масса концентрата, г,  $Q$  – масса пробы, г,  $\eta$  – коэффициент разбавления концентрата пробы графитом.

Выбор исследуемых элементов обусловлен их распространенностью и жизненной важностью для объектов живой природы. Каждый объект, представленный в работе, был проанализирован в условиях повторяемости не менее 5 раз.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Зольные остатки всего живого на земле близки по химическому составу. Однако среди огромного многообразия живых существ всегда можно найти единые для всех общие характеристики (поля однообразий). Если считать, что многообразие – это проявление чего-либо единого по своей сущности в различных видах и формах, а однообразие – постоянное повторение одного и того же свойства, то наши исследования можно представить в следующем виде.

Анализ зольных остатков живых объектов Сибирского региона (Томской области) в пересчете на сухой остаток исследуемых систем представлен на рис. 1. Очевидно, что многообразие распределения концентрации элементов с увеличением их порядкового номера имеет свои закономерности в последовательном чередовании областей порядка и беспорядка, гармонии и дисгармонии в расположении атомов. При этом чередование таких областей прослеживается по периодам. Первый и второй периоды более или менее сохраняют относительный порядок атомов формирования каркаса, в третьем периоде наблюдается отклонение от порядка, в четвертом порядок возвращается, а в пятом периоде наблюдается наиболее полный беспорядок, переходящий в хаос.

Из всего многообразия представленных графических зависимостей (см. рис. 1) можно выделить экологические популяции и системы, приуроченные к конкретным биоценозам. На рис. 2 представлены результаты исследования зольных остатков волос женщин в пересчете на сухую массу; видно, что во всем диапазоне зависимостей логарифма концентрации от порядкового номера наблюдается относительный порядок с небольшими нарушениями для элементов третьего, пятого и шестого периодов. Для популяции

животных (рис. 3) чередование концентрационных колебаний сохраняется аналогичным базовому рис. 1. По рис. 4 можно сделать вывод о соответствии и синхронизации каркасных зависимостей кривых распределения в ряду жертва–хищник. Так, известно, что баклан питается треской. Следовательно, можно ожидать совпадения концентрационных кривых распределения химических элементов, что доказывают данные, приведенные на рис. 4. Для тяжелых металлов (см. рис. 1–4) наблюдается наибольший беспорядок в характере концентрационных кривых их распределения в живых организмах.

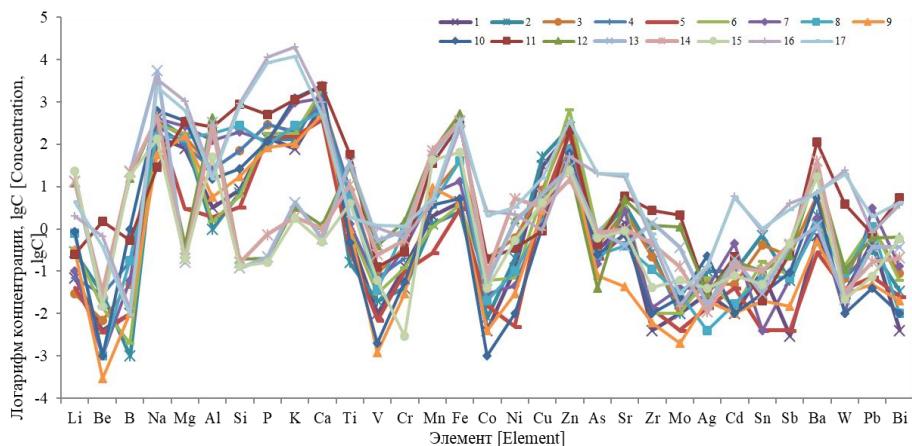


Рис. 1. Распределение логарифма концентрации химических элементов в анализируемых пробах: волос людей (1–6); волосяного покрова животных: 7 – лошади, 8 – быка, 9 – лося, 10 – телки; деревьев: 11 – березы; трав: 12 – мелисы, 13 – ромашки, 14 – листа эвкалипта, 15 – лабазника; рыб: 16 – трески; птиц: 17 – баклана

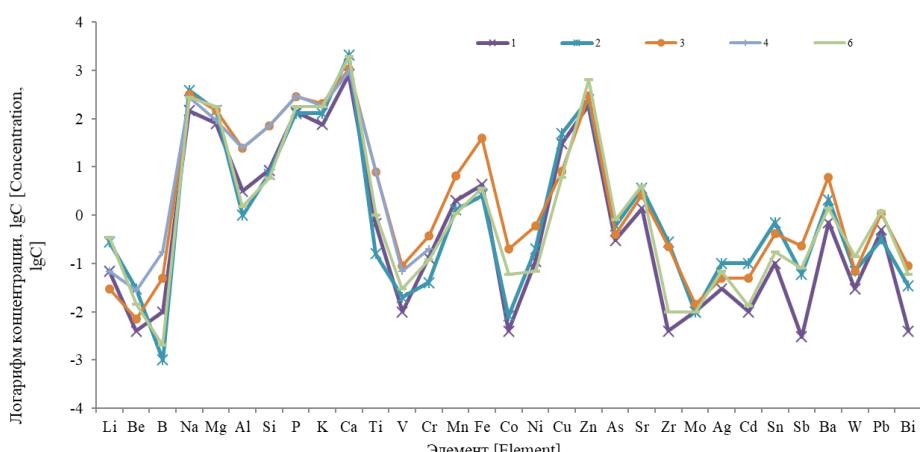


Рис. 2. Распределение логарифма концентрации химических элементов в анализируемых пробах женских волос (возраст 20–25 лет)

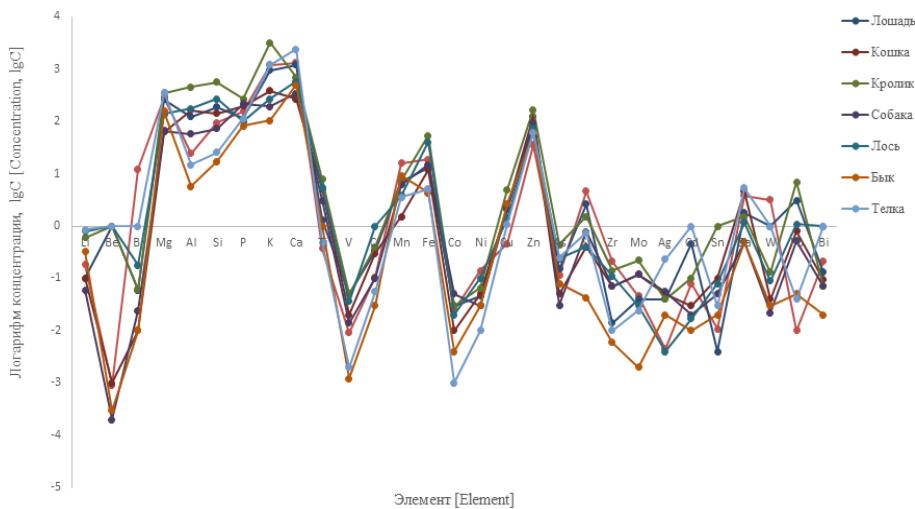


Рис. 3. Распределение логарифма концентрации химических элементов в шерсти животных

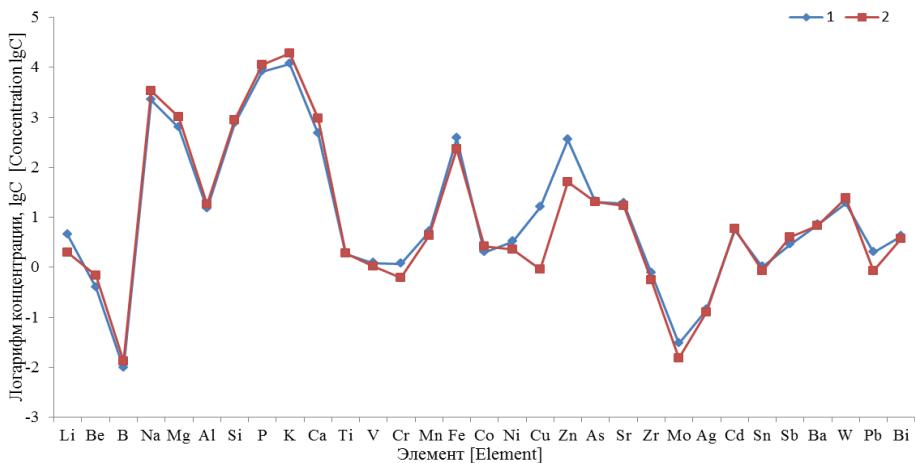


Рис. 4. Распределение логарифма концентрации химических элементов в мышечных тканях (1 – баклан, 2 – треска)

Интересно выделить три основных зоны химических ритмов распределения элементов для всех изученных живых объектов, в среднем ограниченных тем или иным S-элементом. Первая зона находится в диапазоне от водорода до кальция; вторая – от кальция до стронция, третья – от стронция до бария. При этом амплитуда концентрационных колебаний с увеличением порядкового номера элемента постоянно уменьшается по близкому к экспоненциальному закону. Однако в третьей зоне наблюдается характерный провал, который, по-видимому, объясняется экологово-климатическими факторами среды обитания.

На основании вышеизложенного, очевидно, можно предсказать поведение ритмов распределения химических элементов в следующей зоне, ограниченной S-элементами Ba и Ra, амплитуда концентрационных колебаний которых будет минимальной, а разброс в содержании элементов в разных живых организмах – максимальным из всех известных на сегодня. По-видимому, это можно объяснить самой высокой распространенностью S-элементов второй группы на земле.

Будущие исследования позволят доказать или опровергнуть выдвинутую гипотезу.

### **Заключение**

Полученные в работе зависимости, по-видимому, носят неслучайный характер, они отражают глубокую взаимосвязь явлений, протекающих в природе на физическом, химическом и биологическом уровнях организации и функционирования живых объектов. В ближайшее время следует ожидать обнаружения и идентификации взаимосвязи химических ритмов с ритмами колебаний геомагнитных полей, солнечной и космической активности, происходящими в природе.

### **Список источников**

1. Пупышев А.А., Суриков В.Т. Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой. Образование ионов. Екатеринбург : УрО РАН, 2006. 114 с.
2. МУК 4.1.1482–03. Определение химических элементов в биологических средах и препаратах методами атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой : метод. указания. Москва : Федер. центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. 56 с.
3. МУ ФР.1.31.2013.13831. Методика (метод) измерений массовой концентрации элементов в пробах волос методом атомно-эмиссионного анализа с дуговым возбуждением спектра. Свидетельство об аттестации методики (метода) измерений № 08-47/380.01.00143-2013.2016.
4. Лабусов В.А., Гаранин В.Г., Зарубин И.А. Новые спектральные комплексы на основе аналитических анализаторов МАЭС // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2017. № 83 (1). С. 15–20.
5. Отмахов В.И., Петрова Е.В. Оптимизация условий проведения атомно-эмиссионного спектрального анализа порошковых проб сложного состава на графитовой основе // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2012. № 78 (1-2). С. 82–85.
6. Отмахов В.И. Методологические особенности создания методик атомно-эмиссионного анализа различных объектов // Аналитика и контроль. 2005. № 9 (3). С. 245–249.
7. Отмахов В.И., Петрова Е.В., Варламова Н.В. Структурно-методическая схема создания методик анализа оксидных материалов с применением метода атомно-эмиссионной спектроскопии // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2008. № 74 (8). С. 15–17.
8. ГСО 8487–2003. Стандартные образцы состава графитового коллектора микропримесей. КомплектСОГ-37. Екатеринбург : УГТУ–УПИ, 2003.
9. Отмахов В.И., Катаева Н.Г., Кускова И.С., Петрова Е.В. Элементный анализ волос методом дуговой атомно-эмиссионной спектроскопии с целью диагностики заболеваний // Химический анализ и медицина : сб. тезисов 1-й Всерос. конф. с междунар. участием, 9–12 ноября 2015, Москва. М. : КАСКОН, 2015. С. 134.

10. Отмахов В.И., Петрова Е.В., Шилова И.В., Батанина А.А., Кускова И.С., Рабцевич Е.С. Дуговой атомно-эмиссионный спектральный анализ лекарственных растений // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2015. № 81 (1). С. 145–148.
11. Отмахов В.И., Кускова И.С., Петрова Е.В., Краснов Е.А., Замощина Т.А., Решетов Я.Е., Рабцевич Е.С., Бабенков Д.Е. Аналитическое сопровождение получения литийсодержащих растительных экстрактов ритмомоделирующего действия // Вестник Томского государственного университета. Химия. 2016. № 2. С. 35–44.
12. Отмахов В.И., Обухова А.В., Ондар С.А., Петрова Е.В. Определение элементного статуса человека с целью оценки экологической безопасности регионов // Вестник Томского государственного университета. Химия. 2017. № 9. С. 50–59.
13. Кускова И.С. Оптимизация условий проведения элементного анализа биологических объектов методами дуговой и пламенной атомно-эмиссионной спектрометрии : автореф. дис. ... канд. хим. наук. Томск, 2017. 24 с.
14. Отмахов В.И., Рабцевич Е.С., Петрова Е.В., Шилова И.В., Гиндулина Т.М., Шелег Е.С., Бабенков Д.Е. Методика обнаружения и количественного определения макро- и микроэлементов в растительном сырье методом дуговой атомно-эмиссионной спектроскопии с многоканальным анализатором эмиссионных спектров // Химико-фармацевтический журнал. 2022. № 56 (2). С. 50–54.
15. Рабцевич Е.С. Аналитические подходы к определению элементного состава биологических объектов спектральными методами : автореф. дис. ... канд. хим. наук. Томск, 2021. 26 с.

### **References**

1. Pupyshev A.A., Surikov V.T. Mass-spektrometriya s induktivno-svyazannoj plazmoj. Obrazovanie ionov [Mass spectrometry with inductively coupled plasma. Ion formation]. UB RAS: Yekaterinburg, 2006; 114 p. (In Russian)
2. MI 4.1.1482-03. Opredelenie himicheskikh elementov v biologicheskikh sredah i preparatah metodami atomno-emissionnoj spektroskopii s induktivno-svyazannoj plazmoj i mass-spektrometrii s induktivno-svyazannoj plazmoj: Metodicheskie ukazaniya. [Definition of chemical elements in biological environments and medicines by methods of atomic and issue spectroscopy with the inductive and connected plasma and mass spectrometry with the inductive and connected plasma: Methodical instructions] Federal Center for State Sanitary and Epidemiological Surveillance of the Russian Ministry of Health: Moscow, 2003; 56 p. (In Russian)
3. MI FR.1.31.2013.13831 Metodika (metod) izmerenij massovoj koncentracii elementov v probah volos metodom atomno-emissionnogo analiza s dugovym vozobuzhdeniem spektra. Svidetelstvo ob attestacii metodiki (metoda) izmerenij №08-47/380.01.00143-2013.2016. [Technique (method) of measurements of mass concentration of elements in tests of hairy method of the atomic and issue analysis with arc excitement of a range. Certificateon certification of a technique (method) of measurements № 08-47/380.01.00143-2013.2016] (In Russian)
4. Labusov V.A., Garanin V.G., Zarubin I.A. Novye spektralnye kompleksy na osnove analiticheskikh analizatorov MAES [New spectral systems based on MAES analyzers]. Factory laboratory. Material diagnostics. 2017, 83 (1), 15–20. (In Russian)
5. Otmahov V.I., Petrova E.V. Optimizaciya uslovij provedeniya atomno-emissionnogo spektralnogo analiza poroshkovyh prob slozhnogo sostava na grafitovoj osnove [Optimization of conditions for atomicemission spectral analysis of graphite-based powder samples of complex composition]. Factory laboratory. Material diagnostics. 2012, 78(1–2), 82–85. (In Russian)
6. Otmahov V.I. Metodologicheskie osobennosti sozdaniya metodik atomno-emissionnogo analiza razlichnyh objektov [Methodological features of creation of atomic-emission techniques for various objects]. Analytics and control. 2005, 9(3), 245–249. (In Russian)

7. Otmahov V.I., Petrova E.V., Varlamova N.V. Strukturno-metodicheskaya skhema sozdaniya metodik analiza oksidnyh materialov s primeneniem metoda atomno-emissionnoj spektroskopii [Structural-methodical scheme of creation of methods of analysis of oxide materials using the method of atomic-emission spectroscopy]. Factory laboratory. Material diagnostics. 2008, 74(8), 15–17. (In Russian)
8. SRM 8487-2003, Standartnye obrazcy sostava grafitovogo kollektora mikroimpurestv. Komplekt SOG-37 [Standard examples of structure of a graphite collector of microimpurity. SOG-37 set]. USTU-UPI: Yekaterinburg, 2003. (In Russian)
9. Otmahov V.I., Kataeva N.G., Kuskova I.S., Petrova E.V. Elementnyj analiz volos metodom dugovoj atomno-emissionnoj spektroskopii s celyu diagnostiki zabolevaniy. [The elemental analysis of hair by method of arc atomic and issue spectroscopy for the purpose of diagnosis of diseases]. Chemical Analysis and Medicine: Collection of Abstracts of the 1st All-Russian Conference with International Participation. 2015, 134. (In Russian)
10. Otmahov V.I., Petrova E.V., SHilova I.V., Batanina A.A., Kuskova I.S., Rabcevich E.S. Dugovoj atomno-emissionnyj spektralnyj analiz lekarstvennyh rastenij [Arcatomic-emission analysis of medicinal herbs]. Factory laboratory. Material diagnostics. 2015, 81(1), 145–148. (In Russian)
11. Otmahov V.I., Kuskova I.S., Petrova E.V., Krasnov E.A., Zamoshchina T.A., Reshetov YA.E., Rabcevich E.S., Babenkov D.E. Analiticheskoe soprovozhdenie poluchenija litijsoederzhashchih rastitelnyh ekstraktov ritmomodeliruyushchego dejstviya [Analytical support to obtain lithium-containing plant extracts of the rhythm-modulating action]. Vestnik of Tomsk State University. Chemistry. 2016, 2, 35–44. (In Russian)
12. Otmahov V.I., Obuhova A.V., Ondar S.A., Petrova E.V. Opredelenie elementnogo statusa cheloveka s celyu ocenki ekologicheskoy bezopasnosti regionov [Determining people's element status to assess the ecological safety of regions]. Vestnik of Tomsk State University. Chemistry. 2017, 9, 50–59. (In Russian)
13. Kuskova I.S. Optimizaciya uslovij provedeniya elementnogo analiza biologicheskikh objektov metodami dugovoj i plamennoj atomno-emissionnoj spektrometrii: avtoref. dis. ... kand. him. nauk. [Optimization of conditions of carrying out element analysis of biological objects by methods of arc and ardent atomic and issue spectrometry] [Cand Sci. Dissertation Abstract, Chemistry]. National Research Tomsk State University: Tomsk, 2017; 24 p. (In Russian)
14. Otmahov V.I., Rabcevich E.S., Petrova E.V., SHilova I.V., Gindulina T.M., SHeleg E.S., Babenkov D.E. Metodika obnaruzheniya i kolichestvennogo opredeleniya makro- i mikroelementov v rastitelnom syrje metodom dugovoj atomno-emissionnoj spektroskopii s mnogokanalnym analizatorom emissionnyh spektrov [New method for detection and quantitative determination of macro elements and trace elements in plant raw material by the arc atomic-emission spectroscopy with multichannel analyzer]. Chemical Pharmaceutical Journal. 2022, 56(2), 50–54. (In Russian)
15. Rabcevich E.S. Analiticheskie podhody k opredeleniyu elementnogo sostava biologicheskikh objektov spektralnymi metodami: avtoref. dis. ... kand. him. nauk. [Analytical approaches to determining the elemental composition of biological objects by spectral methods] [Cand Sci. Dissertation Abstract, Chemistry]. National Research Tomsk State University: Tomsk, 2021; 26 p. (In Russian)

**Сведения об авторах:**

**Отмахов Владимир Ильич** – д-р техн. наук, профессор кафедры аналитической химии химического факультета Национального исследовательского Томского государственного университета, Томск, Россия. E-mail: otmahov2004@mail.ru

**Саркисов Юрий Сергеевич** – д-р техн. наук, профессор кафедры химии общеобразовательного факультета Томского государственного архитектурно-строительного университета, Томск, Россия. E-mail: sarkisov@tsuab.ru

**Обухова Анастасия Валерьевна** – аспирант химического факультета Национального исследовательского Томского государственного университета, Томск, Россия. E-mail: obukhovaa20101995@gmail.com

**Янюк Алёна Евгеньевна** – бакалавр кафедры аналитической химии химического факультета Национального исследовательского Томского государственного университета, Томск, Россия. E-mail: bloom201328@mail.ru

**Петрова Елена Васильевна** – канд. хим. наук, доцент кафедры аналитической химии химического факультета Национального исследовательского Томского государственного университета, Томск, Россия. E-mail: elena1207@sibmail.com

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

*Information about the authors:*

**Otmakhov Vladimir Ilyich** – PhD, Professor, Analytical Chemistry Department, Chemical Faculty, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia. E-mail: otmahov2004@mail.ru

**Sarkisov Yury Sergeevich** – PhD, Professor, Department of Chemistry, Faculty of General Education, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Tomsk, Russia. E-mail: sarkisov@tsuab.ru

**Obukhova Anastasia Valerievna** – postgraduate student, Faculty of Chemistry, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia. E-mail: obukhovaa20101995@gmail.com

**Yanyuk Alena Evgenievna** – Bachelor of the Department of Analytical Chemistry, Faculty of Chemistry, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia. E-mail: bloom201328@mail.ru

**Petrova Elena Vasilievna** – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Analytical Chemistry, Faculty of Chemistry, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia. E-mail: elena1207@sibmail.com

*Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.*

*The authors declare no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 04.09.2022; принята к публикации 09.11.2022*

*The article was submitted 04.09.2022; accepted for publication 09.11.2022*