

Актуальные области исследований в аналитике. 2019-2023 гг.

***Б. Л. Мильман, И. К. Журкович**

ФГБУ «НКЦТ им. С. Н. Голикова ФМБА России»,
Российская Федерация, 192019, г. Санкт-Петербург, ул. Бехтерева, 1

*Адрес для переписки: Мильман Борис Львович, e-mail: bormilman@yandex.ru

Поступила в редакцию 09 сентября 2024 г., после доработки 20 сентября 2024 г.

В статье изложены результаты наукометрического исследования лексики, относящейся к заголовкам наиболее цитируемых публикаций по аналитической химии в 2019-23 гг., и очерчены наиболее актуальные для этого времени области исследований. Они согласуются с современными тенденциями развития аналитики - миниатюризацией аналитической техники и приложением химического анализа к биомедицине и охране окружающей среды. Развитие сенсорной техники, применимой, в частности, в диагностике коронавирусных заболеваний, соответствует обеим тенденциям. Экологические аспекты аналитики проявляются в определении микропластика и становлении зеленой аналитической химии. Лексический мониторинг массивов научных статей удобен своей экспрессностью.

Ключевые слова: аналитика, наукометрия, терминология, развитие, сенсоры, микропластик, зеленая аналитическая химии

For citation: Analitika i kontrol' [Analytics and Control], 2024, vol. 28, no. 3, pp. 244-250

DOI: 10.15826/analitika.2024.28.3.002

Topical research fields in analytics. 2019-2023.

***B.L. Milman, I.K. Zhurkovich**

S. N. Golikov Scientific and Clinical Center of Toxicology of the Federal Medical and Biological Agency,
1 Behtereva Str., St. Petersburg, 192019, Russian Federation

*Corresponding author: Boris L. Milman, E-mail: bormilman@yandex.ru

Submitted 09 September 2024, received in revised form 20 September 2024

This article presents the results of scientometric lexical study of titles of most cited publications in analytical chemistry in 2019-23, and outlines most topical research fields in that time span. They are consistent with the current trends in progress of analytics, i.e. miniaturization of analytical instruments and application of chemical analysis for biomedicine and environment protection. Development of sensor technology, applicable in particular for diagnostics of coronavirus diseases, corresponds to both trends. Environmental aspects of analytics are evident in the detection of microplastics and the emergence of green analytical chemistry. Lexical monitoring of scientific articles is convenient by its expressiveness.

Keywords: analytics, scientometrics, terminology, development, sensors, microplastics, green analytical chemistry

ВВЕДЕНИЕ

Умение ориентироваться в обилии научной информации – естественный навык квалифицированного химика-аналитика. Это представляет собой нетрудную задачу, если рассматривается сравнительно узкая научная область, в которой работает специалист. Информационный мониторинг широких научных областей и наук в целом, который

также часто необходим, требует уже привлечения групп экспертов. Другой подход к такому обширному мониторингу – статистическое изучение научно-информационных потоков с привлечением методов наукометрии (библиометрии, инфометрии).

Ранее мы многократно исследовали развитие аналитической химии, рассматривая 100 наиболее цитируемых статей в этой области за пятилетие, предшествующее дате исследования [1, 2]. Каждый

из таких информационных массивов в итоге разбивали на отдельные группы (кластеры), исходя из тематической близости публикаций, которая определяется частотой их совместного цитирования (социтирования) в последующих статьях. Отдельный кластер соответствовал тому или иному сравнительно узкому научному направлению, которое называют «горячей»/актуальной/передовой областью или фронтом исследований. Результат последней из таких наукометрических работ – выделение нескольких передовых областей, связанных с химическими (электрохимическими, био-) сенсорами, микрофлюидикой, микропластиком, глубокими эвтектическими растворителями и другими направлениями [2].

Изучение цитирования и социтирования постоянно используется в ежегодном мониторинге науки в целом [3], но не является единственным наукометрическим методом слежения за развитием научной сферы. Мониторинг изменения научной лексики (отдельных терминов, ключевых слов) и динамики лексических комбинаций (совместной встречаемости слов, co-word) становится не менее популярным [4]. В этой статье мы хотели бы продемонстрировать возможности совместного применения статистик научных ссылок и научных терминов для выявления актуальных/«горячих» областей аналитики в последние годы.

МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

С «горячими» исследованиями в аналитике мы традиционно ассоциируем 100 наиболее цитируемых работ в ведущих журналах по аналитической химии. Список этих журналов (Biosensors and Bioelectronics, Analytical Chemistry, Trends in Analytical Chemistry, и др.) и перечень статей в них, отражающий результаты цитирования за предыдущие 5 лет, ежегодно публикуется на сайте портала Google Академия (последние данные – июль 2024 г. [5]). Такие 100 статей, относящиеся к периоду 2019-23 гг. и наиболее цитируемые в это время (число ссылок от 293 до 1546), были отобраны и в этой работе (массив I). Библиографические описания этих статей сохраняли в виде отдельных текстовых файлов, используя команду «Импортировать в RefMap» (команда устанавливается на вкладке «Настройки» и располагается после описания каждой статьи). Эти файлы рассматривали совместно с использованием программы VOSviewer 1.6.20 [6].

Результат работы указанной программы – частоты встречаемости слов в заголовках статей и, главное, карты таких терминов. Последние представляют собой сети, узлы которых – слова/термины, а ребра – связи между словами (см. ниже, рис. 1 и 2). Размер узлов отражает частоту встречаемости термина; как правило, учитывали слова с частотой не менее двух. Толщина ребер измеряется частотой совместного присутствия соответствующих терминов в одних и тех же заголовках статей. Программа VOSviewer объединяет узлы/термины, связанные

ребрами, в отдельные кластеры, окрашивая их различными цветами. Здесь такая группировка слов полезна лишь в умеренной степени, поскольку кластеры часто включают общеаналитические и общенаучные термины, такие как «применение», «обнаружение», «обзор» (см. рис. 1 и 2), которые недостаточно специфично характеризуют отдельные области аналитики. Поэтому мы объединяли термины не только по их «окрашенности», но и, скорее, по научному значению.

Программа VOSviewer позволяет провести первичное изучение лексики 100 статей, выбранных

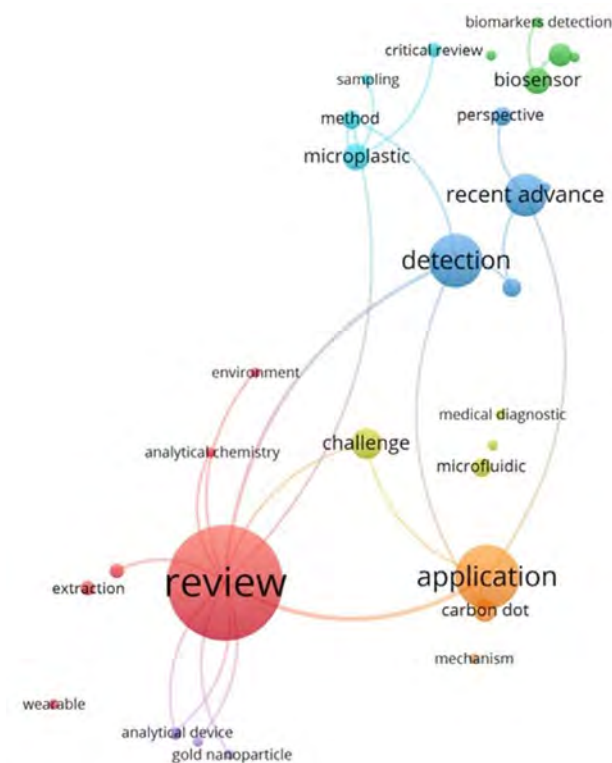


Рис. 1. Карта терминов из заголовков высокоцитируемых статей 2017-21 гг. (массив III, основная часть карты). Минимальные частоты встречаемости терминов (здесь малые круги) и их совместной парной встречаемости (здесь наиболее узкие ребра) – два раза. Русские аналоги основных присутствующих англоязычных терминов приведены в табл. 1 и 2. Аналоги других терминов: analytical chemistry – аналитическая химия, analytical device – аналитический прибор, application – применение, challenge – вызов, critical review – критический обзор, gold nanoparticle – наночастица золота, mechanism – механизм, method – метод, perspective – перспектива, recent advance – последнее достижение, review – обзор

Fig. 1. Map of terms extracted from the titles of highly cited articles from 2017-21 (subset III, main part of the map). Minimum frequency of occurrence of terms (small circles) and their pairwise co-occurrence (the narrowest edges) is two. Russian analogs of the English terms present are given in Tables 1 and 2 and in the figure captions.

Таблица 1

Актуальные области аналитики в 2022 г. Массив статей III

Table 1

Topical research fields in analytics in 2022. Papers' subset III

№	Частые цитирование и социтирование (число статей) [2]	Частые цитирование и термины (частота встречаемости слова) *
1-5	Электрохимические и биосенсоры (16), носимые сенсоры (6), фотоэлектрохимические сенсоры (5), газовые сенсоры (4), сенсоры в онкологии (2)	[Биосенсор (biosensor, 11) + графен (graphene, 5) + обнаружение биомаркера (biomarker detection, 2)], электрохимический биосенсор (electrochemical biosensor, 4) электрохимический сенсор (electrochemical sensor, 2), биомаркер рака (cancer biomarker, 2), носимый (wearable, 2)
6	Микропластик в окружающей среде (10)	[Микропластик (microplastic, 6) + отбор пробы (sampling, 2)]
7	Углеродные квантовые точки (6)	Углеродная точка (carbon dot, 5)
8	Глубокие эвтектические растворители (6)	Глубокий эвтектический растворитель (deep eutectic solvent, 3), экстракция (extraction, 3)
9, 10	Микрофлюидика, прежде всего, бумажная (5), трехмерная микрофлюидика (3)	Микрофлюидика (microfluidic, 4) бумажная микрофлюидика (microfluidic paper, 2), бумага (paper, 2), медицинская диагностика (medical diagnostic, 2)
11	Спектрометрия ионной подвижности (2)	- **

* В круглых скобках – соответствующий исходный английский термин, в квадратных скобках – кластеры терминов (не менее двух случаев совместной встречаемости).

** Не обнаружены соответствующие термины более чем с единичной частотой.

* The corresponding original English term is placed in parentheses; clusters of terms (co-occurring at least twice) are placed in square brackets.

** No corresponding terms with more than a single occurrence frequency were found.

на портале Google Академия, достаточно быстро: в течение одного или нескольких рабочих дней. Это гораздо быстрее, чем адаптированный нами вариант оценки социтирования [1, 2].

Кроме указанного массива статей, были исследованы еще две группы публикаций. Во-первых, было учтено, что наиболее популярное направление исследований представляло собой разработку и применение сенсоров (см. ниже). Чтобы выявить публикации из других областей исследований, которые предположительно были «выдавлены» «сенсорными» статьями из первой сотни высокоцитируемых работ, мы провели повторное исследование с измененным набором высокоцитируемых статей 2019–23 гг. (массив II). Из начального массива I исключили статьи, в заголовках которых присутствует слово «сенсор», и добавили такое количество публикаций из «несенсорных» журналов (48 работ); эти статьи следовали по частоте цитирования вслед за первой их группой (число ссылок не менее 221).

Третья группа публикаций (массив III) была сформирована ранее в рамках нашего предыдущего наукометрического изучения аналитики [2], относящегося к 2022 г., и использована здесь для сравнения результатов двух статистических методов: (а) цитирования вместе с социтированием и (б) цитирования вместе с анализом лексики. Был создан комплекс текстовых файлов, связанных с рассмотренными ранее 102 статьями 2017–2021 гг., наиболее цитируемыми в эти годы, и с использованием указанной программы было проведено аналогичное описанному лексическое исследование.

Аналитика, 2022 г.

Результаты сравнения двух методов – статистики цитирования вместе с (а) социтированием или (б) подсчетом лексических единиц - применительно к массиву высокоцитируемых статей, отобранных два года назад (III), приведены в табл. 1; лексическая сеть показана на рис 1. Эти данные показывают, что почти все темы актуальных исследований отражаются соответствующими основными терминами (не «повезло» только спектрометрии ионной подвижности). В этом нет особых сюрпризов, поскольку многие из этих терминов, содержащихся в названиях данных статей (а также в названиях статей, их цитирующих), учтены ранее при идентификации областей исследований (средний столбец, табл. 1) в результате изучения публикаций в «ручном» режиме.

Таким образом, можно считать, что оба наукометрических метода имеют сопоставимые возможности, касающиеся выявления общих характеристик исследований, которые выражены в терминологии. Важны и определенные различия. Социтирование позволяет разбить массив высокоцитируемых статей на отдельные кластеры/области более отчетливо. Лексический же мониторинг менее «селективен»: сеть слов включает неоднозначные термины (см. наиболее крупные узлы на рис. 1), которые могут относиться к любой из областей аналитики. С другой стороны, при использовании базы данных свободного доступа (Google Академия) в обоих случаях, изучение лексики реализуется быстрее.

Аналитика, 2024 г.

Оценив сравнительные возможности цитационно-лексического варианта наукометрических исследований, мы применили его к заголовкам высокоцитируемых статей, отобранных через два года - за пятилетие, предшествующее 2024 г. Результаты этой части работы приведены в табл. 2 и рис. 2; направления исследований определены по терминам, выделенным программой. Обнаружено, что естественно, как сходство, так и расхождение с ситуацией двухлетней давности.

Основные направления исследований и разработок, как двумя годами ранее, относились к сенсорам с многочисленными вариантами этих устройств и их применения [7]. Преобладают био- и электрохимические сенсоры для определения биомаркеров, представлены также газовые сенсоры. Большая и в высшей степени актуальная область новых работ в обсуждаемое пандемийное и постпандемийное время – диагностика заболеваний COVID-19 и обнаружение соответствующего вируса SARS-COV-2

с применением сенсорной (и другой) техники [8]. Распространенность этой биоаналитической тематики проявляется и в том, что соответствующие термины проявляются также при явном исключении «сенсорных» статей из проводимого исследования (правый столбец, табл. 2). Научные исследования, связанные с COVID-19, очень распространены и присутствуют во многих фронтах исследований в различных науках [3].

Вторая область, сохранившаяся после предыдущего мониторинга [2], связана с микропластиком и его присутствием в окружающей среде. Научное сообщество чрезвычайно встревожено этой проблемой, хотя реальные угрозы здоровью человека в цельном доказательном виде еще не сформулированы [9]. Еще одна область, отмеченная в предыдущем исследовании, связана с углеродными квантовыми точками (№ 5) – углеродными наночастицами, сигналы флуоресценции которых полезны в медицинской диагностике [10].

Проведенный наукометрический мониторинг в первый раз обнаружил еще три актуальные области,

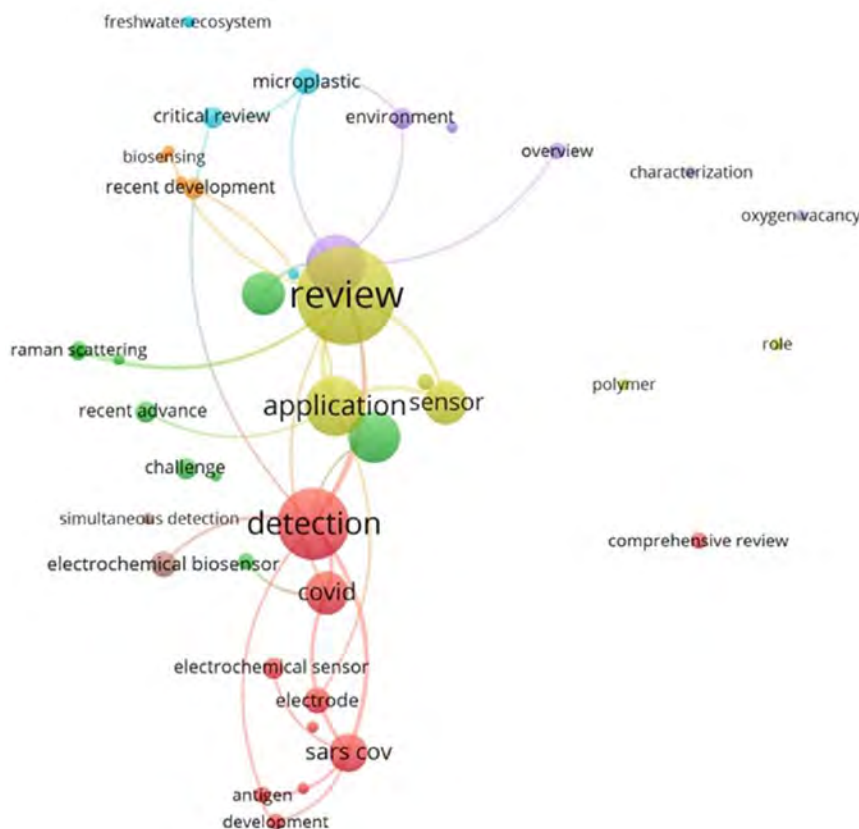


Рис. 2. Карта терминов из заголовков высокоцитируемых статей 2019-23 гг. (массив I, основная часть карты). Минимальные частоты встречаемости терминов (здесь малые круги) и их совместной парной встречаемости (здесь наиболее узкие ребра) – два раза. Русские аналоги основных присутствующих англоязычных терминов приведены в табл. 1 и 2 и в подписи к рис. 1. Аналоги других терминов: characterization - характеристикация, comprehensive review – всесторонний обзор, development – развитие или разработка, oxygen vacancy – вакансия кислорода, overview - обзор, polymer - полимер, recent development - последняя разработка, role - роль, simultaneous detection – одновременное обнаружение

Fig. 2. Map of terms extracted from the titles of highly cited articles from 2019-23 (subset III, main part of the map). Minimum frequency of occurrence of terms (small circles) and their pairwise co-occurrence (the narrowest edges) is two. Russian analogs of the English terms present are given in Tables 1 and 2 and in the figure captions.

Таблица 2

Актуальные области развития аналитики в 2024 г.

Table 2

Topical research fields in analytics in 2024

№	Область	Комментарии	Массив статей 2019-2023 гг.	
			I	II
1	Сенсоры и их применение	Миниатюрные аналитические устройства, чувствительные к небольшим количествам аналита (биомаркера). Широкое использование наноматериалов	Сенсор (sensor, 9), биосенсор (11), электрохимический биосенсор (5), [COVID (9) + вирус SARS-COV-2 (sars cov, 8) + диагноз (diagnosis, 3) + антиген (antigen, 3) + электрохимический сенсор (4) + электрод (electrode, 5)], [газовый сенсор (gas sensor, 4) + ацетон (acetone, 2)]	[COVID (5) + вирус SARS-COV-2 (8)]
2	Микропластик в окружающей среде	Определение мелких частиц (<5 мм) полимеров в объектах окружающей среды	[Микропластик (5) + окружающая среда (environment, 4)], пресноводная экосистема (freshwater ecosystem, 2), нанопластик (nano, 2)	[Микропластик (6) + окружающая среда (4)], [пресноводная экосистема (2) + нанопластик (3)], загрязнитель (contaminant, 2), объект окружающей среды (environmental sample, 2)
3	Поверхностно-усиленная рамановская спектроскопия	Резкое усиление рамановского излучения биомолекул при их сорбции на неровных металлических поверхностях или наноструктурах	[Рамановское рассеяние (raman scattering, 3) + поверхность (surface, 3)], Раман (raman, 2)	Рамановское рассеяние (2), Раман (2), глубокое обучение (deep learning, 3)
4	Зеленая аналитическая химия	Модификация принципов, методов и методик анализа, снижающая нагрузку на окружающую среду	- *	Зеленая аналитическая химия (2), пробоподготовка (4)
5	Углеродные квантовые точки	Флуоресцентные наноматериалы для медицинской диагностики	Углеродная точка (2), биосенсорика (biosensing, 2)	- **
6	Экстракция биологически активных соединений из растительного материала	Важная процедура в препаративном выделении и открытии новых биологически активных соединений	- **	[Биологически активные соединения (bioactive compounds, 2) + растение (plant, 2)], сверхкритическая жидкостная экстракция (supercritical fluid extraction, 2)

* Термин с частотой не менее двух отсутствует в результатах работы программы. По одному разу здесь выделены комбинации слов «green analytical chemistry» и «green analytical chemistry metric» («показатели зеленой аналитической химии»). В случае «безсенсорного» анализа (правая колонка, массив статей II), термин «green analytical chemistry» выделен уже два раза.

* The term with the occurrence frequency of two and above is absent from the program operating results. Combinations of words “green analytical chemistry” and “green analytical chemistry metrics” are highlighted here once each. In case of “no sensor” analysis (right column, articles’ subset II) the term “green analytical chemistry” is already highlighted twice.

** Нет выделенных терминов с частотой не менее двух.

** No highlighted words with the occurrence of at least two.

проявившиеся здесь в небольших пропорциях. К ним относится сравнительно новый метод (№ 3 в табл. 2) - поверхностно-усиленная рамановская спектроскопия (другой термин - рамановское рассеяние), позволяющая обнаруживать очень малые количества больших биомолекул (белки, нуклеотиды) [11].

Два других направления – зеленая аналитическая химия (№4) [12] и экстракция биологически значимых соединений из растительного материала (№ 6) [13] – обнаружены на пределе чувствительности (частота слов равна двум, табл. 2) при дополнительном учете «несенсорных» статей (массив II).

Динамика исследований проявляется в том, что те или иные направления исследований не только появляются на видимом уровне, но и могут терять свои следы. В каких-то случаях это происходит по техническим причинам, из-за особенностей выделения терминов программой VOSviewer. Здесь это проявляется дважды.

Первый пример – микрофлюидика: термин «microfluidic» и все комбинации этого слова встречаются 8 раз в заголовках статей, отобранных в 2022 г. (массив III, направления исследований 9 и 10, табл. 1). С другой стороны, во втором массиве статей 2024 г. (массив II) наблюдается только однократное упоминание терминов «droplet microfluidics» («капельная микрофлюидика») и «microfluidic approach» («микрофлюидный подход»). Если рассматривать эти термины как две комбинации одного и того же слова «microfluidic(s)», то очевиден вывод, что рассматриваемое направление исследований обнаружено и в 2024 г. (на пороге чувствительности).

Сходная ситуация наблюдается для «deep eutectic solvents» (область № 8 в 2022 г., табл. 1). В 2024 г. в обоих массивах публикаций (I и II) встречаются по одному заголовку статей с терминами «deep eutectic solvents» и «hydrophobic deep eutectic solvents» («гидрофобные глубокие эвтектические растворители»). Программа выделила по одному разу лексические комбинации «eutectic solvent» и «hydrophobic deep eutectic solvent» соответственно, суммарно – два раза. Таким образом, это направление работ («глубокие эвтектические растворители») также обнаруживается в 2024 г., однако, как и в случае «микрофлюидики», масштабы соответствующих исследований как актуальных стали меньше.

Дополнительно отмечаем, что термины, характеризующая развитие аналитики в 2024 г. («зеленая аналитическая химия», «рамановская спектроскопия», «экстракция биоактивных соединений») двумя годами ранее проявились только по одному разу. Другими словами, отсутствие этих областей исследований в 2022 г. (табл. 1) закономерно и подтверждено обоими методами.

Интерпретация результатов наукометрического исследования

Выделенные в результате наукометрического мониторинга области исследований и разработок, как показывают наши наблюдения, можно охарактеризовать как относительно зрелые, характеризующиеся появлением обзоров, но все еще сравнительно новые направления научных работ. Для них типична немалая исследовательская активность, которая проявляется в высокой цитируемости рассматриваемых статей. Такая цитируемость может продолжаться или даже увеличиваться какое-то время, затем она переносится на более поздние статьи, развивающие или модифицирующие соответствующую тематику, или

спадает, если актуальность работ в рассматриваемой области падает, они стали рутинными.

Наукометрический мониторинг обнаруживает многие актуальные темы научных исследований. Перечень выявленных направлений, таких как в табл. 1 и 2, важно учитывать как существенный элемент информационного обеспечения, но не следует воспринимать как строго обязательный список приоритетных областей исследований. Более того, каждый научный сотрудник определяет такие приоритеты для себя, исходя из собственных научных интересов, текущей прагматики и других соображений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе изучена научная лексика заголовков ста наиболее цитируемых публикаций по аналитической химии в 2019-23 гг. и выявлены наиболее актуальные для этого времени направления исследований. Они соответствуют двум известным тенденциям современного развития аналитики: (а) миниатюризации аналитической техники и (б) применениям химического анализа в биомедицине и охране окружающей среды. Обе тенденции нашли свое отражение прежде всего в развитии сенсорной техники и, в частности, диагностике ковидных заболеваний. Экологические аспекты аналитики широко проявляются в определении микропластика и становлении зеленой аналитической химии. Лексический мониторинг массивов научных статей не полностью «селективен» при выделении отдельных областей исследования, но удобен своей экспрессностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мильман Б.Л., Луговкина Н.В., Журкович И.К. Передовые исследования в химии. 2012-2020 годы //Аналитика. 2021. Т. 11, № 5. С. 402-409.
2. Мильман Б.Л., Журкович И.К. Карта аналитики – 2022: миниатюрные приборы, COVID-19, микропластик, глубокая эвтектика //Аналитика. 2023. Т. 13, № 5. С. 360-365.
3. Research Fronts 2023. Chinese Academy of Sciences, Clarivate. [Электронный ресурс]: https://discover.clarivate.com/Research_Fronts_2023_EN (дата обращения 23.08.2024).
4. Мильман Б.Л., Журкович И.К. «Социтирование социтирований»: структурирование массива научных публикаций, отражающих современные библиометрические методы //Научно-техническая информация. Серия 2. 2024. № 3. С. 1-8.
5. Популярные публикации. [Электронный ресурс]: https://scholar.google.ru/citations?view_op=top_venues&hl=ru&vq=chm_analyticalchemistry (дата обращения 23.08.2024).
6. VOSviewer. [Электронный ресурс]: <https://www.vosviewer.com> (дата обращения 23.08.2024).
7. Recent advances in electrochemical biosensors: Applications, challenges, and future scope/ A.Singh [et al.]// Biosensors. 2021. V. 11, № 9. P. 336.
8. Yüce M., Filiztekin E., Özkaya K.G. COVID-19 diagnosis—A review of current methods // Biosens. Bioelectron. 2021. V. 172. Article 112752.

9. Мильман Б.Л., Журкович И.К. Микро- и нанопластик. Абрис проблемы // Аналитика. 2024. Т. 14, №4. С. 328-337.
10. Ji C., Zhou Y., Leblanc R.M., Peng Z. Recent developments of carbon dots in biosensing: A review // *ACS sensors*. 2020. V. 5, № 9. P. 2724-2741.
11. A review on surface-enhanced Raman scattering/ R.Pilot [et al.]// *Biosensors*. 2019. V. 9, № 2. P. 57.
12. Sajid M., Plotka-Wasyłka J. Green analytical chemistry metrics: A review // *Talanta*. 2022. V. 238. Article 123046.
13. Lefebvre T., Destandau E., Lesellier E. Selective extraction of bioactive compounds from plants using recent extraction techniques: A review // *J. Chromatogr. A*. 2021. V. 1635. Article 461770.

REFERENCES

1. Milman B.L., Lugovkina N.V., Zhurkovich I.K. [Front research in chemistry. 2012-2020]. *Analitika [Analytics]*, 2021, vol. 11, no. 5, pp. 402-409. doi: 10.22184/2227-572X.2021.11.5.402.408. (in Russian)
2. Milman B.L., Zhurkovich I.K. [Map of Analytics-2022: Miniaturized Instruments, COVID-19, Microplastics, Deep Eutectics]. *Analitika [Analytics]*, 2023, vol. 13, no. 5, pp. 360-365. doi: 10.22184/2227-572X.2023.R5.360.365. (in Russian)
3. Research Fronts 2023. Chinese Academy of Sciences, Clarivate. Available at: https://discover.clarivate.com/Research_Fronts_2023_EN (Accessed 23 August 2024).
4. Milman B.L., Zhurkovich I.K. Co-Citation of Co-Citations: Structuring the Subset of Scientific Documents Reflecting Modern Bibliometric Methods. *Automatic Documentation and Mathematical Linguistics*, 2024, vol. 58, no. 2, pp. 87-94. doi: 10.3103/s0005105524700055.
5. Popular publications. Available at: https://scholar.google.ru/citations?view_op=top_venues&hl=ru&vq=chm_analyticalchemistry (Accessed 23 August 2024).
6. VOSviewer. Available at: <https://www.vosviewer.com> (Accessed 23 August 2024).
7. Singh A., Sharma A., Ahmed A., Sundramoorthy A.K., Furukawa H., Arya S., Khosla A. Recent advances in electrochemical biosensors: Applications, challenges, and future scope. *Biosensors*, 2021, vol. 11, no. 9, p. 336. doi: 10.3390/bios11090336.
8. Yüce M., Filiztekin E., Özkaya K.G. COVID-19 diagnosis—A review of current methods. *Biosens. Bioelectron.* 2021, vol. 172, article 112752. doi: 10.1016/j.bios.2020.112752.
9. Milman B.L., Zhurkovich I.K. [Micro- and nanoplastics. An outline of the problem]. *Analitika [Analytics]*, 2024, vol. 14, no. 4, pp. 328-337. doi: 10.22184/2227-572X.2024.14.4.328.337/ (in Russian).
10. Ji C., Zhou Y., Leblanc R.M., Peng Z. Recent developments of carbon dots in biosensing: A review, *ACS sensors*, 2020, vol. 5, no. 9, pp. 2724-2741. doi: 10.1021/acssensors.0c01556.
11. Pilot R., Signorini R., Durante C., Orian L., Bhamidipati M., Fabris L. A review on surface-enhanced Raman scattering, *Biosensors*, 2019, vol. 9, no. 2, p. 57. doi: 10.3390/bios9020057.
12. Sajid M., Plotka-Wasyłka J. Green analytical chemistry metrics: A review, *Talanta*, 2022, vol. 238, article 123046. doi: 10.1016/j.talanta.2021.123046.
13. Lefebvre T., Destandau E., Lesellier E. Selective extraction of bioactive compounds from plants using recent extraction techniques: A review, *J. Chromatogr. A*, 2021, vol. 1635, article 461770. doi: 10.1016/j.chroma.2020.461770.