

Твердофазно-спектрофотометрическое определение пероксида водорода в дезинфицирующих и отбеливающих средствах с использованием полиметакрилатной матрицы

Н.А. Гавриленко¹, *Н.В. Саранчина², Д.А. Федан¹, М.А. Гавриленко²

¹Томский государственный университет, Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина 36

²Томский политехнический университет, Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина 30

*Адрес для переписки: Саранчина Надежда Васильевна, E-Mail: saranchina@mail.tsu.ru

Поступила в редакцию 30 апреля 2019 г., после исправления – 30 мая 2019 г.

Предложена комбинированная методика твердофазно-спектрофотометрического иодометрического определения пероксида водорода с использованием полиметакрилатной матрицы. В основе методики лежит реакция окисления иодид-иона пероксидом водорода в среде хлороводородной кислоты, которая сопровождается выделением иода. Иод в виде трииодида извлекают из раствора полиметакрилатной матрицей и фиксируют изменение ее светопоглощения при 365 нм, которое пропорционально концентрации пероксида водорода в растворе. Оптимальное время контакта фаз составляет 5 минут. Исследовано влияние добавки хлороводородной кислоты в анализируемый раствор на аналитический сигнал полиметакрилатной матрицы после ее контакта с раствором пероксида водорода. Показано, что максимальных значений сигнал достигает в диапазоне концентраций кислоты в растворе $(3-5) \cdot 10^{-3}$ М. Оптимальная концентрация иодида калия в анализируемом растворе для протекания редокс-реакции составляет 0.06 %. При этой концентрации достигается наиболее широкий диапазон определяемых содержаний с наименьшим пределом обнаружения пероксида водорода. Описано влияние некоторых ионов на определение пероксида водорода. Разработанная методика позволяет количественно определять содержание пероксида водорода в диапазоне концентраций $(15-130) \cdot 10^{-5}$ % с пределом обнаружения $5 \cdot 10^{-5}$ %. Приведены результаты определения пероксида водорода в образцах дезинфицирующих и отбеливающих средств. Методика проста в исполнении и осуществима с помощью стандартного спектрофотометрического оборудования. Преимуществом разработанной методики определения пероксида водорода по сравнению с методом иодометрического титрования является значительное повышение чувствительности определения, экспрессность, а также отсутствие потерь иода вследствие его летучести благодаря твердофазному экстрагированию.

Ключевые слова: полиметакрилатная матрица, пероксид водорода, твердофазная спектрофотометрия, дезинфицирующие средства, отбеливающие средства.

For citation: *Analitika i kontrol'* [Analytics and Control], 2019, vol. 23, no. 2, pp. 258-264

DOI: 10.15826/analitika.2019.23.2.010

Solid-phase spectrophotometric determination of hydrogen peroxide

N.A. Gavrilenko¹, *N.V. Saranchina², D.A. Fedan¹, M.A. Gavrilenko²

¹Tomsk State University, pr. Lenina, 36, 634050, Tomsk, Russian Federation

²Tomsk Polytechnic University, pr. Lenina, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation

*Corresponding author: Nadezhda V. Saranchina, E-mail: saranchina@mail.tsu.ru

Submitted 30 April 2019, received in revised form 30 May 2019

A combined solid-phase spectrophotometric iodometric method for the determination of hydrogen peroxide using a methacrylate polymer was proposed. The method was based on the oxidation reaction of iodide ion with hydrogen peroxide in the hydrochloric acid with the release of free iodine. The iodine was extracted from the solution by a polymethacrylate matrix, and its concentration was measured at the

absorbance of 365 nm. The amount of iodine extracted by the polymethacrylate matrix was proportional to the concentration of hydrogen peroxide in the solution. The effect of interfering ions was also investigated. The optimal phase contact time was 5 minutes. The effect of adding the hydrochloric acid to the analyzed solution on the analytical signal of the polymethacrylate matrix after its contact with hydrogen peroxide solution was studied. It was shown that the maximum signal was obtained in the range of acid concentrations in the solution of $(3-5) \cdot 10^{-3}$ M. The optimal concentration of potassium iodide in the analyzed solution for the redox reaction was 0.06%. At this concentration, the widest range of detectable concentrations was achieved with the smallest limit of detection for hydrogen peroxide. The developed procedure ensured the determination in the range of $(15-130) \cdot 10^{-5}$ % of hydrogen peroxide with the detection limit of $5 \cdot 10^{-5}$ %. The results of the determination of hydrogen peroxide were given for the proposed method in samples of disinfectants and bleaching agents. The proposed method for hydrogen peroxide determination is more preferable in comparison to the iodometric method [1] as it provides the increased sensitivity, simplicity and rapid analysis, the absence of losses of released iodine due to its solid-phase extraction into the methacrylate polymer and can be conducted using the standard spectrophotometric equipment.

Keywords: polymethacrylate matrix, hydrogen peroxide, solid-phase spectrophotometry, disinfectants, bleaching agents.

ВВЕДЕНИЕ

Благодаря высокой окислительной способности пероксида водорода его применяют в пищевой промышленности, медицине, процессе очистки промышленных вод и др. Особенно актуально его использование в качестве основного компонента дезинфицирующих и отбеливающих средств различного назначения, в том числе и бытового. Длительное хранение и воздействие различных факторов приводит к разрушению пероксида водорода и снижению или полной потере эффективности таких средств, что определяет актуальность контроля содержания в них пероксида водорода. Не менее актуальным является определение микроколичеств пероксида водорода, поскольку он является продуктом разнообразных химических, фотохимических, фотобиохимических реакций в биологических, экологических и клинических областях науки.

В современной аналитической химии разработано большое количество аналитических методов для определения пероксида водорода, в том числе и микроколичеств. Для определения H_2O_2 в концентрированных растворах зачастую используют стандартные титриметрические методики [1]. Большое внимание уделяется инструментальным методам анализа: хроматографическим [2–4] и электрохимическим [5–7]. Широкое распространение получила и спектрофотометрия [8–10]. В настоящее время разработано значительное количество спектрофотометрических методик определения пероксида водорода, в том числе и твердофазных, с использованием ферментов [11, 12] и наночастиц металлов [13–16], для экспрессного его определения используют тест-методы [10, 17–19].

В многочисленных работах предлагается для определения пероксида водорода [20–22] использовать методики, в основу которых положено не прямое иодометрическое определение с выделением иода и последующим его детектированием. В работе [23] предложено использовать комбинированное иодометрическое твердофазное спектроскопическое определение пероксида водорода в водах разных типов путем концентрирования выделившегося

иода пенополиуретаном и детектированием его светопоглощения на поверхности сорбента.

В данной работе исследована возможность иодометрического твердофазно-спектрофотометрического определения пероксида водорода с использованием твердофазной экстракции триодида полиметакрилатной матрицей (ПММ). Ранее показано, что ПММ количественно экстрагирует иод в виде триодида из водных растворов с увеличением ее светопоглощения при 365 нм, что позволяет детектировать аналитический сигнал при помощи спектрофотометра [24].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Реагенты, растворы, аппаратура. Рабочие растворы пероксида водорода с концентрациями $(5 - 200) \cdot 10^{-5}$ % готовили непосредственно перед проведением эксперимента путем последовательного разбавления коммерческого ~37 %-го раствора. Концентрацию исходного раствора пероксида водорода устанавливали по [25]. Раствор KI с концентрацией 5.0 % готовили растворением точной навески реактива. Хлороводородной кислотой создавали необходимую кислотность анализируемых растворов. Использовали ГСО с концентрацией ионов NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ag^+ , Cu^{2+} , Hg^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Al^{3+} , Cr^{6+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , V^{5+} , Cl^- , Br^- , SO_4^{2-} , SO_3^{2-} , $S_2O_3^{2-}$, PO_4^{3-} , NO_3^- , NO_2^- 1 и 10 мг/см³ для проверки мешающего влияния на определение пероксида водорода.

Спектрофотометр Shimadzu UV-1800 использовали для измерения оптических характеристик ПММ. Образцы ПММ для их закрепления на пути светового пучка в кюветном отделении спектрофотометра помещали в ячейку, изготовленную методом 3D печати (рис. 1) или в стеклянную кювету ($l = 0.1$ см).

Мини-ротатор «MultiBioRS-24» применяли для перемешивания растворов с матрицами со скоростью 50 об/мин.

Методика проведения эксперимента и подготовка проб реальных объектов. В градуированную пробирку вносили растворы HCl, KI, H_2O_2 , с различными концентрациями реагирующих веществ, разбавляли до объема 25 см³ дистиллированной водой



Рис. 1. Схематичное изображение процедуры определения пероксида водорода с использованием ПММ.

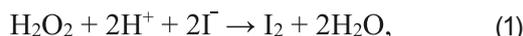
Fig. 1. Schematic illustration of the hydrogen peroxide determination procedure with the use of polymethacrylate matrix (PMM).

и вносили ПММ, полученную по [26], перемешивали 5 минут и затем регистрировали спектры поглощения или измеряли оптическую плотность в максимуме полосы поглощения иода в ПММ.

Выбранные образцы препаратов: отбеливающий ополаскиватель для полости рта “R.O.C.S.”, дезинфицирующий раствор “Sanosil S003”, отбеливатель пятновыводитель для детского белья “CLEAN HOME”, пероксидное средство для ухода за контактными линзами “Aosept Plus” разбавляли в зависимости от содержания в них пероксида водорода в 30, 100, 190, 100 раз.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Реакция пероксида водорода с иодидом сопровождается выделением свободного иода в эквивалентных пероксиду водорода количествах (1). Выделившийся иод взаимодействует с избытком иодида с образованием трийодидного комплекса, который экстрагировали из раствора ПММ (2):



Процесс экстракции трийодида сопровождается изменением окраски ПММ от бледно-желтой до желто-коричневой в зависимости от концентрации пероксида водорода в анализируемом растворе. На спектрах поглощения иода в ПММ после ее контакта с растворами пероксида водорода различной концентрации в присутствии иодида отчетливо видны две полосы поглощения характерные для трийодидного комплекса с максимумами при длинах волн 290 и 365 нм (рис. 2). В качестве аналитического сигнала выбрано абсолютное изменение оптической плотности (ΔA_{365}) ПММ, поскольку ранее [27] отмечено, что измерение аналитического сигнала при 365 нм позволяет получить более воспроизводимые результаты.

Исследовано влияние добавки хлороводородной кислоты на аналитический сигнал в диапазоне ее концентраций от 0 до 2.0 М, создаваемых в анализируемом растворе. Предварительные испытания

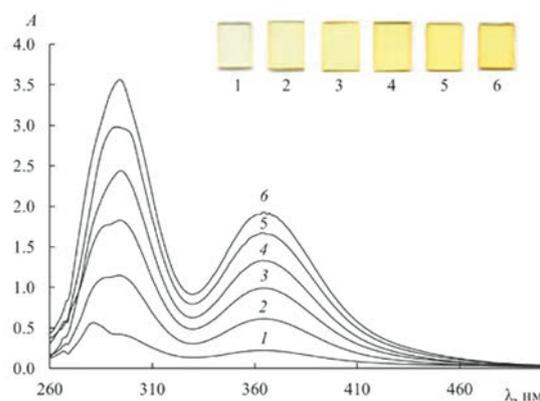


Рис. 2. Спектры поглощения трийодида в ПММ после контакта матрицы с раствором H_2O_2 в присутствии иодида. Концентрация $\text{H}_2\text{O}_2 \cdot 10^{-5}$, %: 1 – 0, 2 – 15, 3 – 29, 4 – 43, 5 – 58, 6 – 72. $c_{\text{KI}} = 0.1$ %, $c_{\text{HCl}} = 0.005$ М.

Fig. 2. Absorption spectra of triiodide in the polymethacrylate matrix after its contact with hydrogen peroxide solution in the presence of iodide. Concentration $\text{H}_2\text{O}_2 \cdot 10^{-5}$, %: 1 – 0, 2 – 15, 3 – 29, 4 – 43, 5 – 58, 6 – 72. $c_{\text{KI}} = 0.1$ %, $c_{\text{HCl}} = 0.005$ М.

показали, что аналитический сигнал детектируется при кислотности среды $(1-10) \cdot 10^{-3}$ М с максимальным его значением в диапазоне $(3-5) \cdot 10^{-3}$ М (рис. 3). Дальнейшее увеличение концентрации кислоты в растворе ведет к увеличению сигнала контрольного опыта (A_0) и уменьшению аналитического сигнала (ΔA_{365}). Все дальнейшие эксперименты проводили с добавлением в анализируемый раствор 1 см³ 0.1 М раствора HCl для создания концентрации кислоты в растворе $4 \cdot 10^{-3}$ М.

Влияние содержания иодида в анализируемом растворе на протекание редокс-реакции и последующее образование трийодидного комплекса,

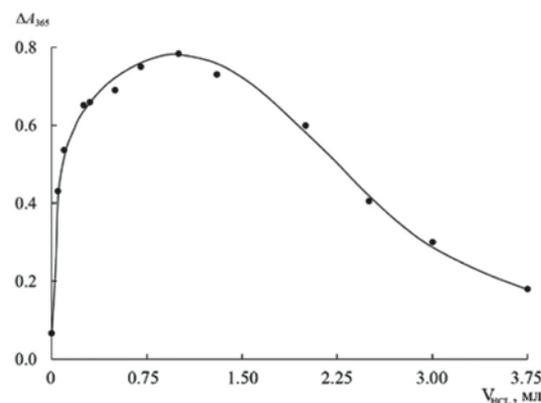


Рис. 3. Влияние добавки 0.1 М HCl в анализируемый раствор на аналитический сигнал после контакта матрицы с $4.3 \cdot 10^{-4}$ %-ным раствором H_2O_2 в присутствии иодида ($c_{\text{KI}} = 0.1$ %, $V = 25$ см³).

Fig. 3. Effect of the addition of 0.1 M HCl in the analyzed solution on the analytical signal after the contact of the PMM with hydrogen peroxide solution ($c = 4.3 \cdot 10^{-4}$ %) in the presence of iodide ($c_{\text{KI}} = 0.1$ %, $V = 25$ ml).

Таблица 1

Влияние концентрации иодида на параметры градуировочной зависимости определения пероксида водорода с использованием ПММ ($c_{\text{HCl}} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ M}$; $n = 3-5$; $P = 0.95$)

Table 1

Effect of iodide concentration on the parameters of calibration curves for the hydrogen peroxide determination using the polymethacrylate matrix ($c_{\text{HCl}} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ M}$; $n = 3-5$; $P = 0.95$)

$c_{\text{KI}}, \%$	Уравнение градуировочной зависимости	A_0	r	$s_{\text{адекв}}$	$s_{\text{восп}}$	ДОС $\cdot 10^{-5}, \%$	$c_{\text{min}} \cdot 10^{-5}, \%$
0.02	$\Delta A_{365} = 993 c$	0.0993	0.982	0.0104	0.0042	15–130	13
0.04	$\Delta A_{365} = 1596 c$	0.1551	0.994	0.0189	0.0141	15–130	9
0.06	$\Delta A_{365} = 2196 c$	0.2075	0.992	0.0112	0.0048	15–130	5
0.10	$\Delta A_{365} = 2817 c$	0.3381	0.982	0.0234	0.0087	15–88	9
0.14	$\Delta A_{365} = 2875 c$	0.4204	0.982	0.0614	0.0835	30–73	30

Примечание: здесь и далее ДОС – диапазон определяемых содержаний.

экстрагируемого ПММ, оценивали построением градуировочных зависимостей (табл. 1). С увеличением концентрации иодида калия в анализируемом растворе наблюдали увеличение коэффициента чувствительности, однако, наиболее широкий линейный диапазон с наименьшим пределом обнаружения пероксида водорода с сохранением рабочих значений дисперсий адекватности и воспроизводимости достигнут при концентрации 0.06 % иодида калия в растворе. Дисперсии адекватности ($s_{\text{адекв}}$) и воспроизводимости ($s_{\text{восп}}$) характеризуют рассеяние значений аналитического сигнала относительно прямой и для одного образца при серии параллельных измерений соответственно. При концентрации иодида в растворе более 0.1 % наблюдали увеличение чувствительности определения H_2O_2 и одновременное завышение значения фонового сигнала (A_0). Все дальнейшие эксперименты проводили с добавлением в анализируемый раствор 0.3 см³ раствора KI с концентрацией 5 % для создания концентрации иодида калия в растворе 0.06 %.

Мешающее влияние широкого круга катионов и анионов, указанных в экспериментальной части, на определение пероксида водорода оценивали в виде относительного отклонения аналитического сигнала [27] при постоянной концентрации пероксида водорода и переменной концентрации изучаемого сопутствующего компонента в анализируемом растворе. Определению пероксида водорода не мешают 10-кратные избытки Na^+ , K^+ , Cl^- , Br^- , SO_4^{2-} . Остальные ионы, введенные в анализируемый раствор, в сопоставимых с пероксидом водорода количествах вызывают относительное отклонение аналитического сигнала более 10 % (табл. 2). Мешающее влияние Fe^{3+} маскируется введением 10-кратного избытка фторидов. Мультипликативные систематические погрешности, связанные с одновременным влиянием посторонних компонентов, присутствующих в некоторых анализируемых объектах совместно с пероксидом водорода, можно исключить применением метода добавок для построения градуировочной зависимости.

Проведенные исследования позволили предложить комбинированную иодометрическую твердофазно-спектрофотометрическую методику определения пероксида водорода, которую апробировали на реальных объектах.

Таблица 2

Влияние посторонних ионов на определение пероксида водорода ($c_{\text{HCl}} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ M}$; $c_{\text{KI}} = 0.06 \%$; $n = 3$)

Table 2

Effect of the extraneous ions on the determination of hydrogen peroxide ($c_{\text{HCl}} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ M}$; $c_{\text{KI}} = 0.06 \%$; $n = 3$)

Посторонний ион (П)	Соотношение $\text{H}_2\text{O}_2 : \text{П}$	$\delta, \%$
NH_4^+	1 : 10	-20.7
Na (I)	1 : 10	7.2
K (I)	1 : 10	0.5
Ag (I)	1 : 1	41.3
Hg (II)	1 : 10	48.9
Pb (II)	1 : 10	-26.4
Zn (II)	1 : 10	26.7
Al (III)	1 : 10	37.0
Cr (VI)	1 : 1	32.4
Cu (II)	1 : 10	26.7
Mg (II)	1 : 10	23.8
Fe (III)	1 : 1	79 3.4*
V (V)	1 : 1	73
Cl^-	1 : 10	1.6
Br	1 : 10	-9.8
SO_4^{2-}	1 : 10	4.2
SO_3^{2-}	1 : 10	-21.6
$\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	1 : 1	-18.3
PO_4^{3-}	1 : 10	12.3
NO_3^-	1 : 10	10.8
NO_2^-	1 : 10	48.8

Примечание: * – маскирование фторид-ионами.

Таблица 3

Результаты определения пероксида водорода в объектах ($c_{\text{HCl}} = 4 \cdot 10^{-3}$ М; $c_{\text{KI}} = 0.06\%$; $n = 4-7$; $P = 0.95$)

Table 3

Results of hydrogen peroxide determination in the samples ($c_{\text{HCl}} = 4 \cdot 10^{-3}$ М; $c_{\text{KI}} = 0.06\%$; $n = 4-7$, $P = 0.95$)

Анализируемый объект	Указано на упаковке, %	Найдено, %		σ_r , %	σ_c , %	σ , %
		Предлагаемой методикой	Стандартной методикой [1]			
“R.O.C.S.”	1	1.12 ± 0.09	1.05 ± 0.02	3	2.4	4
“Sanosil S003”	1.5	1.9 ± 0.5	1.60 ± 0.05	11	7	13
“CLEAN HOME”	5–15	7.9 ± 0.7	7.4 ± 0.4	2.6	4	5
“AoseptPlus”	3	3.24 ± 0.20	3.11 ± 0.03	2.6	1.8	3

Выполнение определения пероксида водорода. После предварительного разбавления препаратов “R.O.C.S.”, “CLEAN HOME”, “Aosept Plus”, “Sanosil S003” аликвотную часть 0.3 – 0.4 см³ пробы образца вводили в градуированную пробирку, добавляли 1 см³ 0.1 М раствора HCl, 0.3 см³ раствора KI с концентрацией 5 % и разбавляли до объема 25 см³ дистиллированной водой. В пробирки с растворами помещали пластинку ПММ и перемешивали. Затем пластинку вынимали и измеряли поглощение при 365 нм. По градуировочной зависимости (табл. 1), построенной в аналогичных условиях, рассчитывали содержание пероксида водорода.

Определение пероксида водорода в препарате “Sanosil S003” проводили методом добавок, что связано с мешающим влиянием ионов серебра в выбранном объекте. Для этого выполняли процедуру, описанную выше, с тем отличием, что дополнительно готовили растворы реперных образцов с содержанием от 0.10 до 0.60 см³ рабочего раствора пероксида водорода и определяли его содержание в образце графическим способом метода добавок.

В табл. 3 представлены результаты определения пероксида водорода методами твердофазной спектрофотометрии и иодометрического титрования, а также оценки показателей качества: прецизионности в условиях повторяемости (σ_r), правильности (σ_c) и точности (σ) для разработанной методики согласно РМГ 61-2010. Погрешность, выраженная в относительных единицах, не превышала 13 %.

Заключение

Показана возможность использования ПММ для иодометрического твердофазно-спектрофотометрического определения (15–130)·10⁻⁵ % пероксида водорода с пределом обнаружения 5·10⁻⁵ % при объеме анализируемой пробы 25 см³. Предложенная методика проста в исполнении и осуществима с помощью стандартного спектрофотометрического оборудования. Показана применимость предложенной методики к анализу дезинфицирующих и отбеливающих средств на содержание пероксида водорода. Преимуществом разработанной методики определения пероксида водорода по сравнению с иодометрическим методом [1] является значительное повышение чувствительности определения, экспрессность,

а также отсутствие потерь выделяющегося иода вследствие его твердофазного экстрагирования в ПММ.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ Р 56991-2016. Дезинфектология и дезинфекционная деятельность. Химические дезинфицирующие средства и антисептики. Метод определения перекиси водорода. М.: Стандартинформ. 2016. 16 с.
- Steinberg S.M. High-performance liquid chromatography method for determination of hydrogen peroxide in aqueous solution and application to simulated Martian soil and related materials // *Environ. Monit. Assess.* 2013. V. 185, № 5. P. 3749–3757.
- High-performance liquid chromatography method for the determination of hydrogen peroxide present or released in teeth bleaching kits and hair cosmetic products / P. Gimeno [et al.] // *J. Pharm. Biomed. Anal.* 2015. V. 107, P. 386–393.
- Ivanova A.S., Merkulova A.D., Andreev S.V., Sakharov K.A. Method for determination of hydrogen peroxide in adulterated milk using high performance liquid chromatography // *Food Chem.* 2019. V. 283. P. 431–436.
- Electrochemical determination of hydrogen peroxide production by isolated mitochondria: A novel nanocomposite carbon-maghemite nanoparticle electrode / M. Magro [et al.] // *Sens. Actuators, B.* 2013. V. 176, P. 315–322.
- Wang Y., Cao W., Zhuang Q., Ni Y. Electrochemical Determination of Hydrogen Peroxide Using a Glassy Carbon Electrode Modified with Three-Dimensional Copper Hydroxide Nanosupercages and Electrochemically Reduced Graphene Oxide // *Anal. Lett.* 2018. V. 51, № 15. P. 2441–2456.
- Azevedo G.C., Castro R.H.S., Matos M.A.C., Matos R.C. Amperometric Determination of Hydrogen Peroxide in Whitening Gels Using Boron-doped Diamond Electrode // *Anal. Sci.* 2018. V. 34, № 8. P. 913–917.
- Afsar H., Apak R., Tor I. Spectrophotometric determination of hydrogen peroxide using tris(1,10-phenanthroline)iron(II) // *Analyst.* 1990. V. 115. № 1. P. 99–103.
- Spectrophotometric determination of hydrogen peroxide, glucose, Uric Acid, and cholesterol using peroxidase-like activity of an Fe(III) complex of thiocalix[4]arenetetrasulfonate attached to an anion-exchanger / J. Odo [et al.] // *Anal. Sci.* 2013. V. 29, № 11. P. 1041–1048.
- Моросанова Е.И., Беляков М.В., Золотов Ю.А. Кремний-титановые ксерогели: твердофазно-спектрофотометрическое и тест-определение пероксида водорода в дезинфицирующих средствах // *Журн. аналит. химии.* 2012. Т. 67, № 2. С. 186–190.
- Multi-wavelength spectrophotometric determination of hydrogen peroxide in water with peroxidase-catalyzed oxida-

tion of ABTS / H. Cai [et al.] // *Chemosphere*. 2018. V. 193, P. 833–839.

12. Определение пероксида водорода и органических пероксидов в мицеллярных и водно-органических средах с использованием спектрофотометрического биосенсора на основе пероксидазы из корней хрена / П.В. Родионов [и др.] // *Журн. аналит. химии*. 2016. Т. 71, № 9. С. 971–982.
13. Endo T., Yanagida Y., Hatsuzawa T. Quantitative determination of hydrogen peroxide using polymer coated Ag nanoparticles // *Measurement*. 2008. V. 41, № 9. P. 1045–1053.
14. A visual detection of hydrogen peroxide on the basis of Fenton reaction with gold nanoparticles / Y. Sang [et al.] // *Anal. Chim. Acta*. 2010. V. 659, № 1–2. P. 224–228.
15. Gavrilenko N.A., Saranchina N.V., Gavrilenko M.A. Colorimetric sensor based on silver nanoparticle – Embedded polymethacrylate matrix // *Advanced Materials Research*. 2014. V. 1040, P. 923–927.
16. Basiri S., Mehdinia A., Jabbari A. A sensitive triple colorimetric sensor based on plasmonic response quenching of green synthesized silver nanoparticles for determination of Fe^{2+} , hydrogen peroxide, and glucose // *Colloids Surf., A*. 2018. V. 545, P. 138–146.
17. Амелин В.Г., Колодкин И.С., Иригина Ю.А. Тест-метод определения пероксида водорода с использованием индикаторных бумаг в атмосферных осадках и водах // *Журн. аналит. химии*. 2000. Т. 55, № 4. С. 419–422.
18. Егорова Л.С., Теслина О.А. Тест-метод определения пероксида водорода реагентными индикаторными полосками // *Известия Алтайского государственного университета*. 2009. № 3. С. 73–74.
19. Determination of hydrogen peroxide using novel test strips based on plastic microcapillary film / Z. Xu [et al.] // *Anal. Methods*. 2017. V. 9, № 21. P. 3230–3236.
20. Sunil K., Narayana B. Spectrophotometric determination of hydrogen peroxide in water and cream samples // *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 2008. V. 81, № 4. P.422–426.
21. Mathew S.B., Pillai A.K., Gupta V.K. Spectrophotometric determination of hydrogen peroxide using leucocystal violet in micellar medium // *J. Dispersion Sci. Technol.* 2009. V. 30, № 5. P. 609–612.
22. Sanders J., Laurent U., Huguette S. Optimized Assay for Hydrogen Peroxide Determination in Plant Tissue Using Potassium Iodide // *Am. J. Anal. Chem.* 2014. V. 5, № 11. P. 730–736.
23. Трохименко А.Ю., Запорожец О.А., Трохименко О.М. Иодометрическое определение пероксида водорода комбинированным спектрофотометрическим методом // *Укр. хим. журн.* 2014. Т. 80, № 5. С. 103–107.
24. Твердофазно-спектрофотометрическое иодометрическое определение нитрита и селена(IV) с использованием полиметакрилатной матрицы / Н.А. Гавриленко [и др.] // *Журн. аналит. химии*. 2017. Т. 72, № 5. С. 476–480.
25. ГОСТ 177-88. Водорода перекись. Технические условия. М., Стандартинформ. 2008. 8 с.
26. Mokrousov G.M., Gavrilenko N. Electroconductivity of poly(methylmethacrylate) modified with metal ions // *Russian J. Physical Chem. A*. 1996. V. 70, № 1. P. 150–151.
27. Федан Д.А., Саранчина Н.В., Гавриленко Н.А., Прокурнин М.А. Твердофазно-спектрофотометрическое иодометрическое определение иодата в пищевой соли с использованием полиметакрилатной матрицы // *Аналитика и контроль*. 2018. Т. 22, № 1. С. 69–74.

REFERENCES

1. *GOST R 56991-2016. Dezinfektologija i dezinfekcionnaia deiatel'nost'. Khimicheskie dezinfitsiruiushchie sredstva i antiseptiki. Metod opredelenia perekisi vodoroda* [State Standard 56991-2016. *Disinfectology and disinfection activities. Chemical disinfectants and antiseptics. Method for the determination of hydrogen peroxide*]. Moskva, Standartinform [Moscow, Standartinform Publ.], 2016. 16 p. (in Russian).
2. Steinberg S.M. High-performance liquid chromatography method for determination of hydrogen peroxide in aqueous solution and application to simulated Martian soil and related materials. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2013, vol. 185, no. 5, pp. 3749-3757. doi: 10.1007/s10661-012-2825-4.
3. Gimeno P., Bousquet C., Lassu N., Maggio A.-F., Civade C., Brenier C., Lempereur L. High-performance liquid chromatography method for the determination of hydrogen peroxide present or released in teeth bleaching kits and hair cosmetic products. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2015, vol. 107, pp. 386-393. doi: 10.1016/j.jpba.2015.01.018.
4. Ivanova A.S., Merkulova A.D., Andreev S.V., Sakharov K.A. Method for determination of hydrogen peroxide in adulterated milk using high performance liquid chromatography. *Food Chemistry*, 2019, vol. 283, pp. 431-436. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.01.051.
5. Magro M., Baratella D., Pianca N., Toninello A., Grancara S., Zboril R., Vianello F. Electrochemical determination of hydrogen peroxide production by isolated mitochondria: A novel nanocomposite carbon-maghemite nanoparticle electrode. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 2013, vol. 176, pp. 315-322. doi: 10.1016/j.snb.2012.09.044.
6. Wang Y., Cao W., Zhuang Q., Ni Y. Electrochemical Determination of Hydrogen Peroxide Using a Glassy Carbon Electrode Modified with Three-Dimensional Copper Hydroxide Nanosupercages and Electrochemically Reduced Graphene Oxide. *Analytical Letters*, 2018, vol. 51, no. 15, pp. 2441-2456. doi: 10.1080/00032719.2018.1428986.
7. Azevedo G.C., Castro R.H.S., Matos M.A.C., Matos R.C. Amperometric Determination of Hydrogen Peroxide in Whitening Gels Using Boron-doped Diamond Electrode. *Analytical Sciences*, 2018, vol. 34, no. 8. pp. 913-917. doi: 10.2116/analsci.17P491.
8. Afsar H., Apak R., Tor I. Spectrophotometric determination of hydrogen peroxide using tris(1,10-phenanthroline) iron(II). *Analyst*, 1990, vol. 115, no 1. pp. 99-103. doi: 10.1039/AN9901500099.
9. Odo J., Inoguchi, M., Ohira S., Tsukikawa S., Aramaki M., Matsuhama S., Taito M., Takayama A. Spectrophotometric determination of hydrogen peroxide, glucose, Uric Acid, and cholesterol using peroxidase-like activity of an Fe(III) complex of thiacalix[4]arenetetrasulfonate attached to an anion-exchanger. *Analytical Sciences*, 2013, vol. 29, no. 11, pp. 1041-1048. doi: 10.2116/analsci.29.1041.
10. Morosanova E.I., Belyakov M.V., Zolotov Y.A. Silica-titania xerogels: Solid-phase spectrophotometric and field test determination of hydrogen peroxide in disinfectants. *Journal of Analytical Chemistry*, 2012, vol. 67, no. 2. pp. 151-155. doi: 10.1134/S1061934812020086.
11. Cai H., Liu X., Zou J., Xiao J., Yuan B., Li F., Cheng Q. Multi-wavelength spectrophotometric determination of hydrogen peroxide in water with peroxidase-catalyzed oxidation of ABTS. *Chemosphere*, 2018, vol. 193, pp. 833-839. doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.11.091.
12. Rodionov P.V., Alieva E.A., Sergeeva E.A., Veselova I.A., Shekhovtsova T.N. Determination of hydrogen peroxide and organic peroxides in micellar and aqueous-organic media

- using a spectrophotometric biosensor based on horseradish peroxidase. *Journal of Analytical Chemistry*, 2016, vol. 71, no. 9, pp. 932-943. doi: 10.1134/S1061934816090148.
13. Endo T., Yanagida Y., Hatsuzawa T. Quantitative determination of hydrogen peroxide using polymer coated Ag nanoparticles. *Measurement*, 2008, vol. 41, no. 9, pp. 1045-1053. doi: 10.1016/j.measurement.2008.03.004.
14. Sang Y., Zhang L., Li Y.F., Chen L.Q., Xu, J.L., Huang, C.Z. A visual detection of hydrogen peroxide on the basis of Fenton reaction with gold nanoparticles. *Analytica Chimica Acta*, 2010, vol. 659, no. 1-2, pp. 224-228. doi: 10.1016/j.aca.2009.11.031.
15. Gavrilenko N.A., Saranchina N.V., Gavrilenko M.A. Colorimetric sensor based on silver nanoparticle – Embedded polymethacrylate matrix. *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 1040, pp. 923-927. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1040.923.
16. Basiri S., Mehdinia A., Jabbari A. A sensitive triple colorimetric sensor based on plasmonic response quenching of green synthesized silver nanoparticles for determination of Fe^{2+} , hydrogen peroxide, and glucose. *Colloids and Surfaces A*, 2018, vol. 545, pp. 138-146. doi: 10.1016/j.colsurfa.2018.02.053.
17. Amelin V.G., Kolodkin I.S., Irinina Yu.A. Test method for the determination of hydrogen peroxide in atmospheric precipitation and water using indicator papers. *Journal of Analytical Chemistry*, 2000, vol. 55, no. 4, pp. 374-377. doi: 10.1007/BF02757775.
18. Egorova L.S., Teslina O.A. [Test method for the determination of hydrogen peroxide reagent indicator strips]. *Izvestiya Altaiskogo gosudarstvennogo universiteta [Izvestiya of Altai State University]*, 2009, no. 3, pp. 73-74 (in Russian).
19. Xu Z., Xu Z., Jiang F., Zhou F., Xu H., Ruan X. Determination of hydrogen peroxide using novel test strips based on plastic microcapillary film. *Analytical Methods*, 2017, vol. 9, no. 21, pp. 3230-3236. doi: 10.1039/c7ay00584a.
20. Mathew S.B., Pillai A.K., Gupta V.K. Spectrophotometric determination of hydrogen peroxide using leucocrysal violet in micellar medium. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 2009, vol. 30, no. 5, pp. 609-612. doi: 10.1080/01932690802597913.
21. Narayana B., Sreekumar N.V., Shetty D.N. A rapid and sensitive spectrophotometric method for the determination of hydrogen peroxide by using a redox reaction. *Oxidation Communications*, 2013, vol. 36, no. 2, pp. 415-421.
22. Sanders J., Laurent U., Huguette S. Optimized Assay for Hydrogen Peroxide Determination in Plant Tissue Using Potassium Iodide. *Am. J. Anal. Chem.*, 2014, vol. 5, no. 11, pp. 730-736. doi:10.4236/ajac.2014.511081.
23. Trokhimenko A.I., Zaporozhets O.A., Trokhimenko O.M. [Iodometric determination of hydrogen peroxide by the combined spectrophotometric method]. *Ukrainskii khimicheskii zhurnal [Ukrainian chemical journal]*, 2014, vol. 80, no. 5, pp. 103-107 (in Russian).
24. Gavrilenko N.A., Saranchina N.V., Fedan D.A., Gavrilenko M.A. Solid-phase spectrophotometric iodometric determination of nitrite and selenium(IV) using a polymethacrylate matrix. *Journal of Analytical Chemistry*, 2017, vol. 72, no. 5, pp. 546-550. doi: 10.1134/S1061934817030054.
25. GOST 177-88 *Vodoroda perekis'. Tekhnicheskie usloviia*. [State Standart 177-88. Hydrogen peroxide. Technical conditions] Moskva, Standartinform [Moscow, Standartinform Publ.], 2008. 8 p. (in Russian).
26. Mokrousov G.M., Gavrilenko N. Electroconductivity of poly(methylmethacrylate) modified with metal ions. *Russian J. Physical Chem. A*, 1996, vol. 70, no. 1, pp. 150-151.
27. Fedan D.A., Saranchina N.V., Gavrilenko N.A., Proskurnin M.A. [Solid-phase spectrophotometric iodometric determination of iodate in food salt using a polymethacrylate matrix]. *Analitika i kontrol [Analytics and control]*, 2018, vol. 22, no. 1, pp. 69-74. doi: 10.15826/analitika.2018.22.1.009 (in Russian).