

Методические подходы к потенциометрическому определению содержания антиоксидантов

© 2025. А. И. Фокина, к. б. н., доцент, А. Б. Нилова, студент,
Е. Г. Фоминых, к. т. н., доцент, А. В. Сазанов, к. б. н., доцент,
Вятский государственный университет,
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36,
e-mail: annushka-fokina@mail.ru

В настоящее время большой популярностью пользуется идея о важной роли продукции пищевой, косметической, фармацевтической промышленности, содержащей вещества, обладающие антиоксидантными свойствами. Причиной является теория о весомом вкладе антиоксидантов (АО) в борьбу с окислительным стрессом – состоянием, вызванным повышенным содержанием активных форм кислорода в организме. Возникновение окислительного стресса может быть обусловлено различными экологическими факторами. Наряду с продуктами питания, дополнительным источником поступления АО в организм могут быть биологически активные добавки (БАД), к числу которых относится БАД на основе зерномицелия ежевика гребенчатого. Правильная оценка содержания АО в фармацевтических препаратах и БАДах помогает обеспечить их сбалансированное употребление. В связи с этим задача по разработке новых и совершенствованию существующих методов определения веществ с антиоксидантными свойствами в различных объектах является актуальной. Благодаря природе анализа, приоритетного внимания заслуживают электрохимические методы, в том числе потенциометрический. Целью работы было – установить оптимальные условия применения потенциометрического метода для определения антиоксидантных свойств субстанций (экстракт ежевики гребенчатого и аскорбиновая кислота) в медиаторной системе $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]$. Установлено, что при определении суммы АО в присутствии оксиданта (пероксид водорода) потенциометрическим методом с использованием медиаторной системы с pH 6,80 и соотношением концентраций (моль/дм³) $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]=0,00005/0,001$ получаются хорошо повторяющиеся результаты (относительное стандартное квадратичное отклонение не превышает 5,0%), зависимость между аналитическим сигналом и количеством аналита имеет линейный характер, а результаты, получаемые методом «введено-найденно», отвечают требованию правильности. Полученные данные и предложенные методические подходы могут быть полезны для применения их в экологических исследованиях антиоксидантной активности различных растительных объектов и трактовке результатов.

Ключевые слова: антиоксиданты, потенциометрия, *Hericium erinaceus*, пероксид водорода, окислительно-восстановительные системы.

Methodological approaches to antioxidant content by potentiometry

© 2025. A. I. Fokina ORCID: 0000-0001-8265-8882, A. B. Nilova ORCID: 0009-0007-0895-1096,
E. G. Fominykh ORCID: 0009-0000-0341-1177, A. V. Sazanov ORCID: 0000-0002-6934-3330,
Vyatka State University,
36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,
e-mail: annushka-fokina@mail.ru

Currently, the important role of the food, cosmetic, and pharmaceutical products containing antioxidants is very popular idea. Various environmental factors can cause oxidative stress increasing the reactive oxygen species level. Antioxidants (AOs) prevent oxidative stress. Some dietary supplements (DS) can be additional AOs sources. A DS based on the granular mycelium of the *Hericium erinaceus* is among them. Correct AOs content assessment in pharmaceuticals and DS helps to ensure their balanced dietary intake. Therefore, the task of developing new and improving existing methods for determining substances with antioxidant properties in various objects remains relevant. Due to the nature of the analysis, electrochemical methods, including potentiometric, deserve priority attention. The aim of the work was to establish the optimal conditions for potentiometry application to determine the antioxidant properties of substances (*H. erinaceus* extract and ascorbic acid) in the $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]$ mediator system. We found that when determining the AOs sum with adding an oxidant (hydrogen peroxide) using a mediator system with pH 6.80 and a $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]=0.00005/0.001$ concentration ratio, well-repeating results are obtained (RSD does not

exceed 5.0%). The relationship between the analytical signal and the analyte amount is linear, and the results obtained by the input–find method meet the requirement of correctness. The obtained data and the proposed methodological approaches can be useful for their application in the environmental studies of the antioxidant activity of various plant objects and the interpretation of the results.

Keywords: antioxidants, potentiometry, *Hericium erinaceus*, hydrogen peroxide, oxidation-reduction systems.

В настоящее время большой популярностью пользуются продукты косметической, фармацевтической и пищевой промышленности, содержащие вещества с антиоксидантными свойствами [1–3]. Это связано с тем, что ведущей теорией, объясняющей механизм неблагоприятного влияния на организм человека различных факторов, в том числе экологических, является теория окислительного стресса в организме [4–6]. Снизить уровень окислительного стресса позволяют антиоксиданты (АО) как эндогенной, так и экзогенной природы [7]. Антиоксиданты оказывают влияние не только согласно их функциональному названию, но и влияют на действие других веществ, например, могут улучшать метаболизм глюкозы и липидов [8]. Установлено, что АО грибов не только проявляют собственные антиоксидантные свойства, но и активируют ферменты организма, проявляющие антиоксидантную активность [2]. Применение субстанций, содержащих АО и вещества иной фармакологической направленности, может оказывать более сильный терапевтический эффект, действуя на специфические заболевания, и снижать окислительный стресс в целом.

Контроль количества АО необходим не только для нормирования потребления продукции, содержащей данную группу веществ, но и для изучения влияния техногенной нагрузки на состав растений, в том числе лекарственного назначения [9, 10].

Следует признать, что метод, позволяющий оценить антиоксидантные свойства субстанций максимально адекватно реакции живого организма, отсутствует. Все существующие методы определения антиоксидантной активности страдают теми или иными недостатками. У каждого метода есть своя специфика получения аналитического сигнала и, как следствие, уникальность получаемых этим методом результатов. В связи с этим, каждый исследователь, исходя из своих целей и возможностей, выбирает готовый, создаёт новый, модифицирует уже известный метод или зачастую прибегает к исследованию антиоксидантной активности изучаемого объекта при помощи комплекса различных

методов [11]. Поэтому до сих пор остаётся актуальным вопрос исследования возможности применения методов, дающих интегральную характеристику антиоксидантных свойств, с целью их внедрения в практику определения АО у различных объектов на уровне аналитического контроля на предприятиях. В данном направлении перспективны электрохимические методы анализа, так как взаимодействие оксидантов и АО в водных средах имеет электрохимическую природу и сопровождается передачей электронов [12]. К этой группе относится потенциометрический метод анализа, который прост, экономичен и близок к реализации принципов зелёной химии.

Целью работы было установить оптимальные условия применения потенциометрического метода для определения антиоксидантных свойств субстанций (экстракт ежевика гребенчатого и аскорбиновая кислота) в медиаторной системе $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]$.

Объекты и методы исследования

В работе использовали потенциометрический метод. Определение проведено на приборе марки «И-160 МИ» (ООО «ЭКОНИКС-ЭКСПЕРТ», Россия). Методика определения АО основана на регистрации изменения потенциала платинового электрода за счёт взаимодействия АО и пероксида водорода с медиаторной системой $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]$, приготовленной на фосфатном (pH 6,80) или фталатном (pH 4,01) буферных растворах, в которую погружены электроды (сравнения – хлорсеребряный, рабочий – платиновый).

Расчёт концентрации АО производили, используя выражение [13]:

$$X = \frac{\alpha C_{0x} - C_{Red}}{1 + \alpha},$$

$\alpha = 10^{[(E1-E2)/b] \cdot C_{red}/C_{ox}}$; $b = 2,3 \cdot R \cdot T / \ln F$; $n = 4$; E1, E2 – потенциалы, устанавливающиеся в системе до и после введения анализируемого источника антиоксиданта, В; C_{ox} – концентрация окисленной формы медиатора, моль/дм³; C_{red} – концентрация восстановлен-

ной формы медиатора, моль/дм³; X – молярная концентрация эквивалента АО, вступившего в реакцию, моль/дм³.

Для оценки влияния pH и соотношения компонентов медиаторной системы на аналитический сигнал платинового электрода в присутствии оксиданта и АО, при их отдельном и совместном присутствии приготовлены растворы с различным pH и концентрациями окисленной и восстановленной форм солей железа (здесь и далее концентрации приведены в моль/дм³):

1) pH 6,8, $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6] = 0,01/0,00001$;

2) pH 6,8, $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6] = 0,001/0,001$;

3) pH 6,8, $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6] = 0,00005/0,00$;

4) pH 4,01, $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6] = 0,001/0,001$;

5) pH 4,01, $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6] = 0,01/0,00001$.

Использование раствора с содержанием солей $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]=0,01/0,00001$, предложенное для потенциометрического определения АО в работе [14], нами взято в качестве базовой методики. Исследовали отклик медиаторных систем по базовой методике, а также при варьировании соотношения концентраций окисленной и восстановленной форм железа и pH на введение экстракта ежевика, аскорбиновой кислоты и пероксида водорода. Пероксид водорода выбран для исследования, так как он является активной формой кислорода, присутствующей в организме человека и принимает участие в окислительном стрессе [15]. Кроме того, это одна из наиболее устойчивых форм, что делает её удобной для аналитических целей.

Экстракт ежевика гребенчатого (*Hericium erinaceus*) готовили с использованием 70%-ного водного раствора этанола (20 мг/см³ экстрагента). Суспензию зерномиделля в спирте настаивали в течение суток.

Объём раствора медиаторной системы составлял 50,0 см³. Использовали стандартные растворы пероксида водорода ($C=0,24$ мг/см³) и аскорбиновой кислоты (1 мг/см³). Номинальными объёмами (100%) считали: экстракт ежевика – 8,0 см³, раствор аскорбиновой кислоты – 1,0 см³, пероксид водорода – 4,5 см³. Объём аликвот подобран таким образом, чтобы изменение электродвижущей силы (ЭДС) во всех вариантах составляло не менее 10 мВ.

Для оценки пригодности потенциометрического определения устанавливали метро-

логические характеристики результатов: повторяемость ($n=5$), линейность (пять уровней концентрации создавали варьированием объёма аликвот растворов аскорбиновой кислоты и экстракта ежевика: 80, 90, 100, 110 и 120%, за 100% принят $V=8,0$ см³ экстракта ежевика, $V=1,0$ см³ аскорбиновой кислоты), правильность (добавляли известное количество (1,0 см³) стандарта совместно с экстрактом (метод «введено-найден»). В качестве стандарта применяли аскорбиновую кислоту. Во всех расчётах значение величины доверительной вероятности принято $P=0,95$. В качестве критерия приемлемости линейности ориентировались на значение $R \geq 0,99$, повторяемости – 5 %.

Результаты и обсуждение

Влияние концентраций $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]$ и pH на аналитический сигнал потенциометрического датчика. Исследован аналитический сигнал потенциометрического датчика при введении растворов пероксида водорода, аскорбиновой кислоты (стандарта), антиоксидантов экстракта ежевика и смеси веществ. Установлено, что в системе с pH 6,80 и соотношением $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]=0,01/0,00001$ наблюдается уменьшение величины ЭДС при введении раствора пероксида водорода в количестве 4,5 см³, что свидетельствует о проявлении восстановительных свойств пероксида (рис. 1а), обусловленных нейтральной средой и высокой концентрацией $K_3[Fe(CN)_6]$. Поэтому использование данной системы для изучения АО свойств субстанций в присутствии пероксида водорода в качестве модели оксиданта затруднительно. В остальных системах наблюдается увеличение ЭДС, что свидетельствует об окислительной активности пероксида водорода по отношению к иону железа Fe^{2+} .

Введение раствора аскорбиновой кислоты (восстановитель) вызывает различные по величине изменения ЭДС во всех медиаторных системах (рис. 1б). В растворах состава $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]=0,001/0,001$ (pH 6,80; 4,01) величина снижения ЭДС значительно меньше, чем в других системах, что можно объяснить недостаточной разницей между концентрациями окисленной и восстановленной форм ионов железа.

Введение экстракта ежевика во всех системах вызывает уменьшение ЭДС (рис. 1в), что свидетельствует о наличии в экстракте соединений, проявляющих антиоксидантные

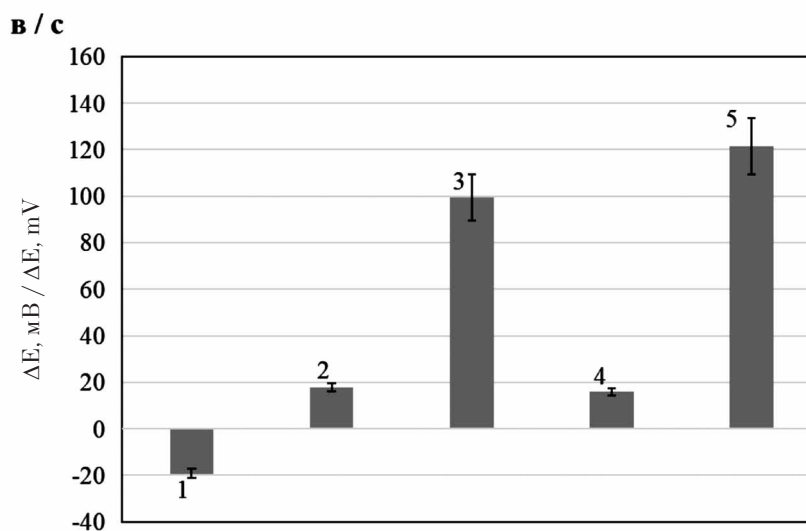
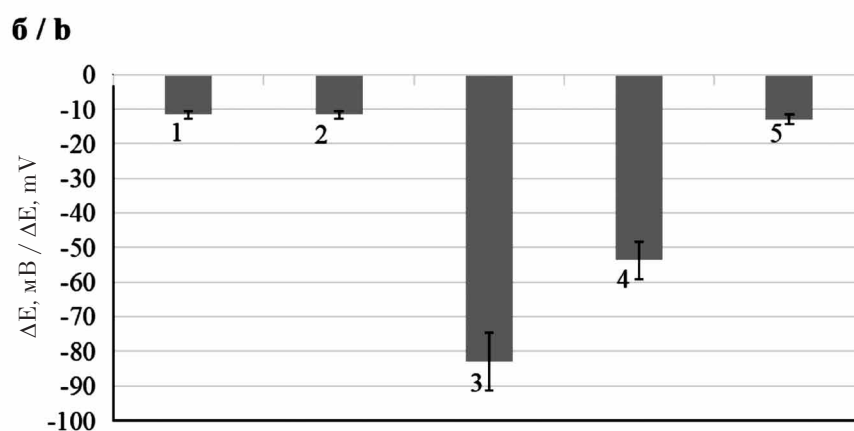
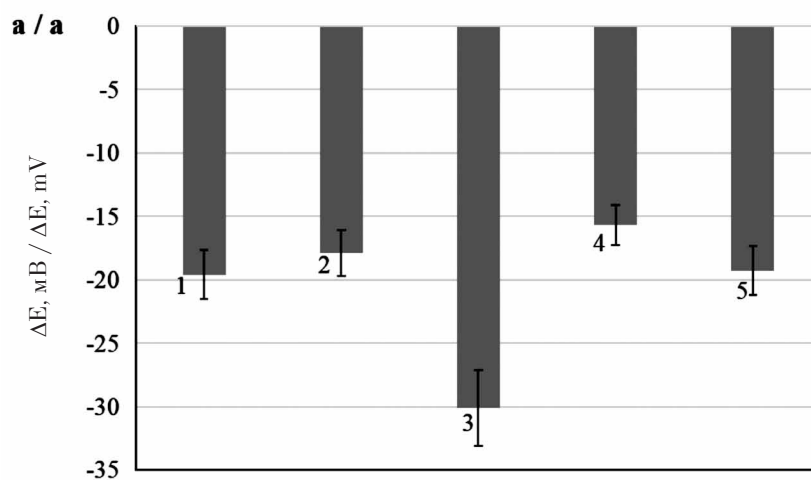


Рис. 1. Величина скачка ЭДС при введении раствора:
 а) пероксида водорода, б) аскорбиновой кислоты, в) экстракта *Hericium erinaceus*
Fig. 1. Electromotive force jump (EMFJ) magnitude when introducing a solution of:
 а) hydrogen peroxide, б) ascorbic acid, в) *Hericium erinaceus* extract

Таблица 1 / Table 1

Величина скачка ЭДС при одновременном введении пероксида водорода и аскорбиновой кислоты в различные медиаторные системы / The EMFJ magnitude during simultaneous injection of hydrogen peroxide and ascorbic acid to different mediator systems

Показатель Indicator	pH		
	6,80	6,80	4,01
$K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]$	0,001/0,001	0,00005/0,001	0,001/0,001
ΔE_1 , мВ	-(9,4±0,6)	-(76,5±6,7)	113,1±10,2
ΔE_2 , мВ	15,5±3,4	29,5±3,0	без изменений without changes

Примечание: ΔE_1 – скачок ЭДС через одну минуту после введения веществ; ΔE_2 – скачок ЭДС через 5 минут (стабилизация значений иономера) после введения веществ.

Note: ΔE_1 is EMFJ in one minute after the injection of the substance; ΔE_2 – EMFJ in 5 minutes (stabilization of ionomer values) after the injection of the substance.

свойства. Наибольшая по модулю величина скачка отмечается в системе с pH 6,80 и соотношением $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]=0,00005/0,001$. Это может быть объяснено оптимальным содержанием окисленной формы железа, с которой наиболее полно протекает окислительно-восстановительная реакция АО.

Далее исследовали отклик медиаторных систем на совместное введение АО и пероксида водорода. Результаты представлены таблице 1.

Таким образом, установлены следующие особенности откликов медиаторных систем с различным составом:

- наибольшие по величине отклики при введении пероксида водорода наблюдали в системах с pH 4,01 и соотношением концентраций $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]$, равным 0,001/0,001 (115,1–126,4 мВ); pH 6,80 и соотношением $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]$ равным 0,00005/0,001 (99,1–99,5 мВ);

- наибольший отклик при введении аскорбиновой кислоты (от -74,7 мВ до -91,3 мВ) и экстракта ежевика (от -27,5 до -33,5 мВ) наблюдали в системе с pH 6,80 и соотношением концентраций $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]$, равным 0,00005/0,001;

- совместное введение пероксида водорода и аскорбиновой кислоты вызывает последовательное уменьшение, а затем увеличение ЭДС во всех исследованных системах (табл. 1), кроме системы с pH 4,01, $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]=0,001/0,001$ (в данной системе наблюдается только увеличение ЭДС). Первоначальное снижение указывает на приоритетность реакции восстановления ионов железа (III) АО. Далее наступает стадия, обусловленная преобладанием окислительных свойств пероксида, но окислительный скачок ЭДС от аналогичного по количеству введения окислителя без АО меньше. Данное

явление наблюдали в системах с pH 6,80 и соотношением концентраций $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]=0,00005/0,001$ и 0,001/0,001. Так, снижение скачка ЭДС, обусловленного пероксидом водорода в первой медиаторной системе, составило около 70%, второй – 20–25%, соответственно. Данное явление может быть использовано для оценки АО свойств веществ по отношению к такой АФК, как пероксид водорода.

Учитывая величину скачка ЭДС от добавления различных веществ (за критерий брали $\Delta E \geq 20$ мВ), а также возможность оценки антиоксидантных свойств веществ за счёт снижения окислительного действия пероксида водорода на двухвалентное железо в медиаторной системе, был выбран состав медиаторной системы для дальнейшего исследования с pH 6,8 и соотношением концентраций $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]=0,00005/0,001$. Кроме того, для сравнения использовали результаты определения АО с помощью базовой медиаторной системы (pH 6,8, $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]=0,01/0,00001$), но без добавления в неё пероксида водорода. Проведено исследование таких метрологических характеристик, как линейность, повторяемость, правильность результатов, получаемых с использованием данных медиаторных систем.

Метрологические характеристики результатов определения антиоксидантов в экстракте ежевика и аскорбиновой кислоты (стандарта), как в присутствии пероксида водорода, так и без него. Установлено наличие линейной зависимости ($R > 0,9900$) между аналитическим сигналом (ΔE , мВ) и объёмами аликвот (см³) раствора аскорбиновой кислоты / экстракта ежевика в системах (pH 6,8) и соотношением $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]$: 0,01/0,00001; 0,00005/0,001 (рис. 2, 3).

В результате определения повторяемости установлено, что значение относительного стандартного квадратичного отклонения не превышает 5,0% (табл. 2), а значения концентраций АО в экстракте ежевика, полученные в различных по составу медиаторных системах, достоверно между собой не отличаются.

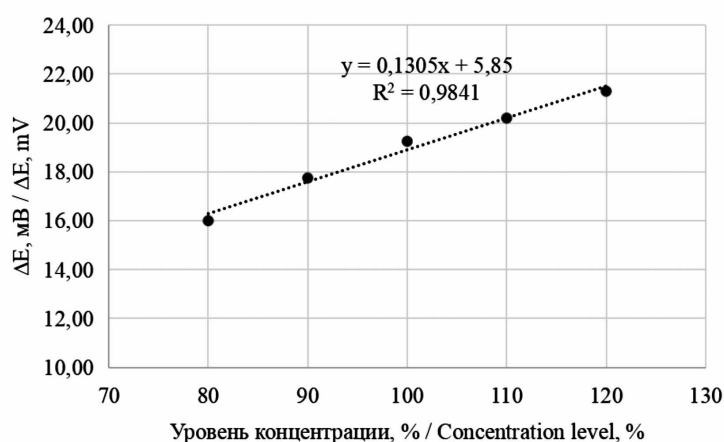
Заключение

В результате проверки правильности получаемых результатов определения АО в экстракте ежевика в системе с рН 6,80 и соотношением концентраций (моль/дм³) $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]=0,00005/0,001$ установлено, что значение добавки аскор-

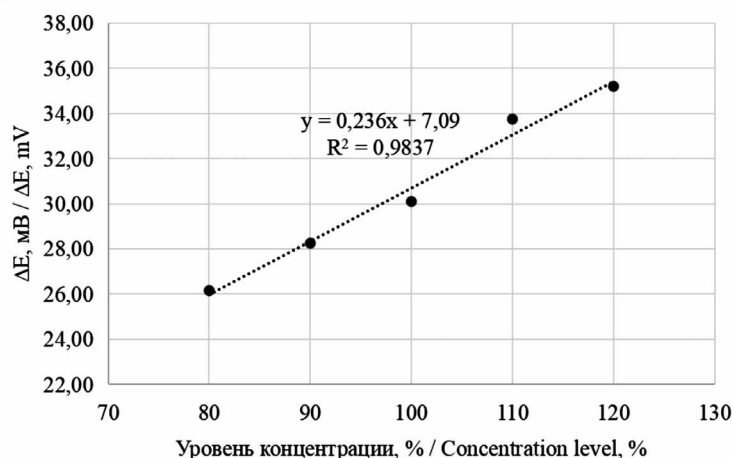
биновой кислоты, принимаемое за истинное (1 мг), лежит внутри доверительного интервала результата анализа ($1,0 \pm 0,4$ мг). Следовательно, получаемые результаты можно считать правильными.

Показано, что при определении аскорбиновой кислоты и суммы АО ежевика потенциометрическим методом получают хорошо повторяющиеся результаты (стандартное квадратичное отклонение не превышает 5,0%), зависимость аналитического сигнала от концентрации веществ (в области 80–120%) имеет линейный характер с R не менее 0,99, а результаты, получаемые методом «введено-найденно», отвечают требованию правильности. Всё это указывает на то, что имеет

а / а



б / б



Соотношение концентраций / concentration ratio $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]$:

а / а – 0,01/0,00001, б / б – 0,00005/0,001

Рис. 2. Зависимость величины скачка ЭДС от объёма аликвот экстракта *Hericium erinaceus* (рН 6,80)
Fig. 2. EMFJ magnitude (ΔE , mV) dependence on the volume of *Hericium erinaceus* extract aliquots (pH 6.80)

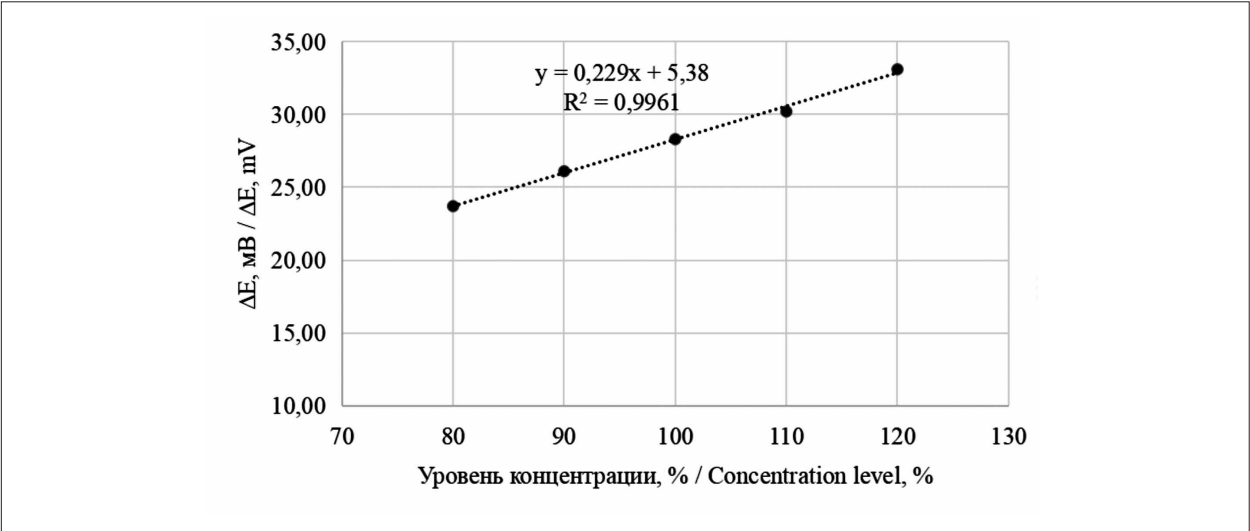


Рис. 3. Зависимость величины скачка ЭДС от объёма аликвот экстракта *Hericium erinaceus* в присутствии пероксида водорода в системе $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]=0,00005/0,001$ (pH 6,80)
Fig. 3. EMFJ magnitude (ΔE , mV) dependence on the volume of *Hericium erinaceus* extract aliquots with hydrogen peroxide in the system $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]=0,00005/0,001$ (pH 6.80)

Таблица 2 / Table 2

Характеристики повторяемости результатов определения АО в экстракте *Hericium erinaceus* (pH=6,80; n=5; P=0,95) / Repeatability characteristics of the results of antioxidants determining in the *Hericium erinaceus* extract (pH=6.80; n=5; P=0.95)

Соотношение концентраций Concentration ratio $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]$	$\bar{X}$, мг/см³ / mg/cm³	Относительное СКО, % RSD, %	$\Delta X=(CKO \cdot t)/\sqrt{n}$ $\Delta X=(SD \cdot t)/\sqrt{n}$
Без добавления пероксида водорода / Without hydrogen peroxide			
0,01/0,00001	0,0214	2,6	0,0005
0,00005/0,001	0,0204	3,2	0,0006
В присутствии пероксида водорода / When adding hydrogen peroxide			
0,00005/0,001	–	0,3	–

Примечание: прочерк означает, что в присутствии пероксида водорода АО не обнаружено, метрологические характеристики посчитаны по ΔE оксиданта.
Note: a dash means that antioxidants were not detected when adding hydrogen peroxide; the metrological characteristics were calculated by ΔE of oxidant.

смысл исследовать особенности применения данного метода для определения суммы АО в фармацевтических субстанциях и внедрения в аналитический контроль качества.

Следует отметить, что наиболее оптимальной системой для определения суммы АО в присутствии пероксида водорода является система с pH 6,80 и соотношением концентраций (моль/дм³) $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]=0,00005/0,001$, поскольку в ней пероксид водорода проявляет окислительные свойства, а антиоксиданты – восстановительные.

Полученные данные и предложенные методические подходы могут быть полезны для применения их в экологических исследованиях антиоксидантной активности различных растительных объектов и трактовке результатов.

Литература

1. Berger R.G., Lunkenbein S., Ströhle A., Hahn A. Antioxidants in food: mere myth or magic medicine? // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2012. V. 52. No. 2. P. 162–171. doi: 10.1080/10408398.2010.499481

2. Arslan N.P., Dawar P., Albayrak S., Doymus M., Azad F., Esim N., Taskin M. Fungi-derived natural antioxidants // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2025. V. 65. No. 9. P. 1593–1616. doi: 10.1080/10408398.2023.2298770

3. Miao W., Yue M., Qiu C., Li X., Sang S., McClements D.J., Jin Z. Interactions between plant-derived antioxidants and cyclodextrins and their application for improving separation, detection, and food quality issues // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2024. V. 64. No. 20. P. 7085–7100. doi: 10.1080/10408398.2023.2180479

4. Абдурахманов Г.М., Гасангаджиева А.Г., Абдурахманова Э.Г., Магомедова А.Г. Состояние компонентов

окружающей среды и заболеваемость злокачественными новообразованиями в Лакском районе республики Дагестан // Известия РАН. Серия географическая. 2008. № 4. С. 109–111.

5. Череватенко А.А. Экологические факторы риска для здоровья человека // Журнал фундаментальной медицины и биологии. 2018. № 3. С. 39–45.

6. Цейликман В.Э., Лукин А.А. Влияние окислительного стресса на здоровье человека // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. №3–1 (117). С. 206–211. doi: 10.23670/IRJ.2022.117.3.037

7. Rom O., Aviram M. Endogenous or exogenous antioxidants vs. pro-oxidants in macrophage atherogenicity // Curr. Opin. Lipidol. 2016. V. 27. No. 2. P. 204–206. doi: 10.1097/MOL.0000000000000287

8. Kanwugu O.N., Glukhareva T.V., Danilova I.G., Kovaleva E.G. Natural antioxidants in diabetes treatment and management: prospects of astaxanthin // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2022. V. 62. No. 18. P. 5005–5028. doi: 10.1080/10408398.2021.1881434

9. Дьякова Н.А., Сливкин А.И., Гравель И.В. Эколого-фармакогностическая оценка качества лекарственного растительного сырья центрального черноземья. М.: Русайнс, 2025. 238 с.

10. Фокина А.И., Скугорева С.Г., Трефилова Л.В., Даровских Л.В. Определение показателей окислительного стресса в мелиссе лекарственной при действии микромицета *Fusarium culmorum* и его антагонистов // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 2. С. 77–83. doi: 10.25750/1995-4301-2022-2-077-083

11. Тринеева О.В. Методы определения антиоксидантной активности объектов растительного и синтетического происхождения в фармации // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2017. № 4. С. 180–197.

12. Яшин А.Я. Методология определения антиоксидантной активности пищевых продуктов и биологических жидкостей // Аналитика. 2021. Т. 11. № 5. С. 370–384. doi: 10.22184/2227-572X.2021.11.5.370.384

13. Шарафутдинова Е.Н., Иванова А.В., Матерн А.И., Брайнина Х.З. Качество пищевых продуктов и антиоксидантная активность // Аналитика и контроль. 2011. Т. 15. № 3. С. 281–286.

14. Иванова А.В., Герасимова Е.Л., Газизуллина Е.Р., Тимина Д.С., Герасимова Н.Л., Собина А.В., Шалыгина Ж.В., Крашенинина М.П. Определение антиоксидантной емкости объектов фармации потенциометрическим методом. Показатели точности измерений // Журнал аналитической химии. 2020. Т. 75. № 3. С. 259–265. doi: 10.31857/S004445022003007X

15. Головкин Т.К., Силина Е.В., Лашманова Е.А., Козловская А.В. Активные формы кислорода и антиоксиданты в живых системах: интегрирующий обзор // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 17–26. doi: 10.25750/1995-4301-2022-1-017-026

References

1. Berger R.G., Lunkenbein S., Ströhle A., Hahn A. Antioxidants in food: mere myth or magic medicine? // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2012. V. 52. No. 2. P. 162–171. doi: 10.1080/10408398.2010.499481

2. Arslan N.P., Dawar P., Albayrak S., Doymus M., Azad F., Esim N., Taskin M. Fungi-derived natural antioxidants // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2025. V. 65. No. 9. P. 1593–1616. doi: 10.1080/10408398.2023.2298770

3. Miao W., Yue M., Qiu C., Li X., Sang S., McClements D.J., Jin Z. Interactions between plant-derived antioxidants and cyclodextrins and their application for improving separation, detection, and food quality issues // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2024. V. 64. No. 20. P. 7085–7100. doi: 10.1080/10408398.2023.2180479

4. Abdurahmanov G.M., Gasangadzhiyeva A.G., Abdurahmanova Je.G., Magomedova A.G. The state of environmental components and the incidence of malignant neoplasms in the Lak region of the Republic of Dagestan // Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya. 2008. No. 4. P. 109–111 (in Russian).

5. Cherevatenko A.A. Environmental risk factors for human health // Zhurnal fundamental'noj mediciny i biologii. 2018. No. 3. P. 39–45 (in Russian).

6. Tseylikman V.E., Lukin A.A. On the effect of oxidative stress on the human body // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skiy zhurnal. 2022. No. 3–1 (117). P. 206–211 (in Russian).

7. Rom O., Aviram M. Endogenous or exogenous antioxidants vs. pro-oxidants in macrophage atherogenicity // Curr. Opin. Lipidol. 2016. V. 27. No. 2. P. 204–206. doi: 10.1097/MOL.0000000000000287

8. Kanwugu O.N., Glukhareva T.V., Danilova I.G., Kovaleva E.G. Natural antioxidants in diabetes treatment and management: prospects of astaxanthin // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2022. V. 62. No. 18. P. 5005–5028. doi: 10.1080/10408398.2021.1881434

9. D'jakova N.A., Slivkin A.I., Gravel' I.V. Ecological and pharmacognostic assessment of the quality of medicinal plant raw materials of the central Chernozem region. Moskva: Rusajns, 2025. 238 p. (in Russian).

10. Fokina A.I., Skugoreva S.G., Trefilova L.V., Darovskih L.V. Determination of oxidative stress indicators in *Melissa officinalis* under the action of micromycete *Fusarium culmorum* and its antagonists // Theoretical and Applied Ecology. 2022. No. 2. P. 77–83 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2022-2-077-083

11. Trineeva O.V. Methods for determining the antioxidant activity of objects of plant and synthetic origin in pharmacy (review) // Drug development & registration. 2017. No. 4. P. 180–197 (in Russian).

12. Yashin A.Ya. Methodology for determining the antioxidant activity of food and biological fluids // Analytics. 2021. V. 11. No. 5. P. 370–384 (in Russian). doi: 10.22184/2227-572X.2021.11.5.370.384

13. Sharafutdinova E.N., Ivanova A.V., Matern A.I., Brajnina H.Z. Foodstuffs quality and antioxidant activity // *Analitika i kontrol'*. 2011. V. 15. No 3. P. 281–286 (in Russian).

14. Ivanova A.V., Gerasimova E.L., Gazizullina E.R., Timina D.S., Shalygina Z.V., Gerasimova N.L., Sobina A.V., Krasheninina M.P. Determination of the antioxidant capacity of pharmaceuticals by potentiometry: indicators of

measurement accuracy // *J. Anal. Chem.* 2020. V. 75. No. 3. P. 259–265 (in Russian). doi: 10.31857/S004445022003007X

15. Golovko T.K., Silina E.V., Lashmanova E.A., Kozlovskaja A.V. Reactive oxygen species and antioxidants in living systems: an integrated overview // *Theoretical and Applied Ecology*. 2022. No. 1. P. 17–26 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2022-1-017-026