

Инверсионно-вольтамперометрическое определение антиоксидантов по степени снижения площади пика пероксида водорода

© 2026. А. И. Фокина, к. б. н., доцент, М. А. Зайцев, к. п. н., доцент, С. С. Козачок, студент, М. Ю. Кухно, студент, Вятский государственный университет, 610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36, e-mail: annushka-fokina@mail.ru

В настоящее время теория окислительного стресса является ключевой при объяснении механизмов негативного влияния различных экологических факторов на здоровье человека. В связи с этим возник интерес к изучению антиоксидантных свойств различных продуктов питания, биологически активных добавок и лекарственных препаратов. При этом в центре внимания оказалось растительное сырьё и продукты на его основе. На территории Кировской области произрастают растения, давно зарекомендовавшие себя как источники ценных биологически активных соединений, в том числе обладающих антиоксидантными свойствами. К этим растениям относятся различные виды семейства хвойных и облепиха. С учётом природы анализа, приоритетного внимания заслуживают электрохимические методы, в том числе метод инверсионной вольтамперометрии. Он позволяет смоделировать условия, приближающиеся к среде организма. Целью работы было – исследовать возможность определения антиоксидантов (АО) в среде фосфатного буферного раствора ($\text{pH} = 6,8$) в присутствии пероксида водорода на дисковом вращающемся электроде. Установлены метрологические характеристики методики определения АО в этанольных растворах методом стандартов по степени снижения пика пероксида водорода на вольтамперограмме после добавления АО. Полученные данные и предложенные методические подходы могут быть полезны в экологических исследованиях антиоксидантной активности различных растительных объектов и трактовке результатов, так как позволяют судить и о ценности сырья как источника АО, и о влиянии различных факторов на состояние растений.

Ключевые слова: антиоксиданты, полифенолы, инверсионная вольтамперометрия, экстракты, хвойные растения, облепиха.

Stripping voltammetric detection of antioxidants by the degree of reduction in the peak area of hydrogen peroxide

© 2026. A. I. Fokina ORCID: 0000-0001-8265-8882, M. A. Zaitsev ORCID: 0000-0001-8726-6714, S. S. Kozachok ORCID: 0009-0003-3257-4885, M. Yu. Kukhno ORCID: 0009-0008-4160-4376, Vyatka State University, 36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000, e-mail: annushka-fokina@mail.ru

Currently the oxidative stress theory is a key to explaining the mechanisms of negative environmental impacts on human health. This led to growing interest in studying the antioxidant properties of various food products, dietary supplements, and pharmaceuticals. Plant-based materials and products are of particular focus. Plants that have long established themselves as sources of valuable biologically active compounds, including those with antioxidant properties, grow on the territory of the Kirov Oblast. Such plants include various species of conifers and *Hippophae rhamnoides* L. Electrochemical methods, particularly stripping voltammetry deserve priority attention as they allow simulation of conditions close to those in a living organism. The aim of this work was to study the possibility of detecting antioxidants (AOs) in a phosphate buffer solution ($\text{pH} = 6.8$) in the presence of hydrogen peroxide using a rotating disk electrode. The metrological characteristics of the method for AOs detecting in ethanol solutions were established by the standard addition method based on the degree of reduction of the hydrogen peroxide peak on the voltammogram after AOs addition. The obtained data and proposed methodological approaches can be useful in environmental studies of the antioxidant activity of various plant objects and in the interpretation of results, since they allow to assess both the value of the raw material as a source of AOs and various factors affecting the plants state.

Keywords: antioxidants, polyphenols, stripping voltammetry, extracts, coniferous plants, *Hippophae rhamnoides* L.

В физиологических условиях свободно-радикальное окисление (СРО) и перекисное окисление липидов (ПОЛ) необходимо для нормального функционирования клеток. Скорость данных процессов поддерживается существующими системами антиоксидантной защиты [1–3]. По современным данным, в условиях чрезмерного и несбалансированного образования активных форм кислорода (АФК) СРО становится одним из главных механизмов повреждения клеток организма [4]. Согласно ведущей теории, объясняющей механизм неблагоприятного влияния на организм человека различных факторов, в том числе экологических, причиной нарушений является окислительный стресс в организме, вызванный чрезмерным появлением АФК [5–7]. Антиоксиданты взаимодействуют со свободными радикалами (СР) и блокируют их эффекты [8]. Снизить уровень окислительного стресса в организме позволяют антиоксиданты (АО) как эндогенной, так и экзогенной природы [9]. На территории Кировской области произрастают различные виды растений, которые являются богатыми источниками АО полифенольной природы [10–11]. Контроль количества АО необходим не только для нормирования потребления продукции, содержащей данную группу веществ, но и для изучения влияния техногенной нагрузки на состав растительных объектов, в том числе лекарственного растительного сырья.

Существует множество методик определения АО, при этом вопрос нормирования их суммарного количества и метода определения остаётся открытым [12–15]. Благодаря сходству природы формирования аналитического сигнала с процессами в организме (процессы взаимодействия оксидантов и антиоксидантов сопровождаются передачей электронов) электрохимические методы занимают особое место среди методов изучения антиоксидантных свойств. Кроме того, они позволяют работать с окрашенными и мутными растворами без предварительной пробоподготовки и отличаются высокой чувствительностью и экспрессностью [14].

Метод инверсионной вольтамперометрии позволяет регистрировать силу токов, возникающих при электровосстановлении различных форм кислорода, в том числе такой его активной формы, как пероксид водорода. С аналитической точки зрения пероксид водорода доступен, достаточно стабилен, и при этом исследования с его участием актуальны. Интерес именно к пероксиду водорода, как

к биологически активному промежуточному соединению, обусловлен следующими причинами: пероксид водорода – продукт дисмутации супероксидного радикала; при взаимодействии с ионами металлов с переменной валентностью он обладает способностью генерировать высоко реакционно-активные свободные гидроксильные радикалы; H_2O_2 способен сравнительно легко диффундировать сквозь гидрофобные мембраны и с этим связывается его биологическая активность. В основе этого феномена лежит то, что молекула пероксида водорода неионизирована и имеет слабый заряд. Следует подчеркнуть, что важность этой молекулы связана не с её химической реакционной способностью, а с теми цитотоксическими эффектами агрессивных свободных радикалов (например, $\bullet OH$), которые из неё генерируются [1].

Целью работы было – исследовать возможность определения антиоксидантов в экстрактах из растений в среде фосфатного буферного раствора (рН 6,8) в присутствии пероксида водорода на дисковом вращающемся электроде.

Объекты и методы исследования

В работе использовали метод инверсионной вольтамперометрии. Определение проведено на приборе марки «Экотест-ВА» с модулем «ЕМ-04» (ООО «Эконикс-Эксперт», Россия).

Объём раствора в электрохимической ячейке составлял 25,0 см³. Использовали стандартные растворы пероксида водорода ($C = 4,8\text{--}5,3$ мг/см³), кверцетина, аскорбиновой и галловой кислот (1 мг/см³). Номинальными объёмами (100%) считали: экстракты растений – 0,8 см³, стандартные растворы АО – 0,8 см³, пероксида водорода – 0,4 или 0,8 см³.

Методика предполагает предварительное накопление тончайшей ртутной плёнки на дисковом вращающемся электроде из раствора нитрата ртути (II). Далее в ячейку заливают последовательно 25 см³ фосфатного буферного раствора с рН 6,8 (фоновый раствор), аликвоту стандартного раствора водорода, аликвоту стандарта АО или исследуемого экстракта, снимая при каждом добавлении вольтамперограмму. По степени занижения пика электровосстановления пероксида водорода можно вычислить количество пероксида, ушедшего на реакцию с антиоксидантом (мг H_2O_2 /см³ экстракта или мг H_2O_2 /г исследуемого сырья) или представить количество АО в единице

сырья или экстракта из него в пересчёте на стандарт (мг стандарта/см³ экстракта или мг стандарта/г сырья).

Предварительно устанавливали линейную зависимость между площадью пика на вольтамперограмме и концентрацией пероксида водорода в ячейке, а также влияние различных АО на площадь пика пероксида водорода.

Для оценки пригодности вольтамперометрического определения АО в различных экстрактах устанавливали метрологические характеристики результатов ($P = 0,95$): повторяемость ($n = 3$ минимум на пяти уровнях концентрации или $n = 6$ на одном уровне концентрации), линейность (пять уровней концентрации создавали варьированием объёма аликвот растворов экстрактов), правильность (добавляли известное количество стандарта совместно с экстрактом (метод «введено-найден»). В качестве критерия приемлемости линейности ориентировались на значение $R \geq 0,99$, для оценки повторяемости использовали величины аналогичной характеристики при определении органических веществ методом катодной инверсионной вольтамперометрии на данном приборе.

Использованы экстракты из хвои пихты сибирской (*Abies sibirica* L.), корейской (*Abies koreana* W.), псевдотсуги Мензиса (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), листьев и плодов облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.), отобранных на территории Кировской области летом 2025 г. Образцы хвои, листьев и плодов собраны на территории д. Сергеево вблизи г. Киров (Кировская область).

Этанольные экстракты приготовлены по ОФС.1.5.3.0006 (однократная экстракция) с помощью 70 % раствора этилового спирта. На экстрактах из хвои пихты сибирской, листьев и ягод облепихи определяли такие метрологические характеристики, как линейность (зависимость между площадью пика электровосстановления пероксида водорода и объёмом добавляемого экстракта, $P = 0,95$; $n = 3$ на пяти уровнях величин аликвот экстрактов: от 0,4 см³ до 1,2 см³ при 0,17 мг Н₂О₂/см³), повторяемость результатов (СКО, %) и открываемость (%) методом «введено-найден».

Статистическую обработку результатов всех измерений проводили согласно ГОСТ Р 8.736-2011. Статистическую значимость различий между средними значениями устанавливали при $P < 0,05$. В качестве погрешностей использованы среднеквадратичные отклонения.

Результаты и обсуждение

Электрохимические параметры работы на приборе и антиоксидантные свойства стандартных веществ. Установлено, что при развёртке потенциала в диапазоне от +200 до -1700 мВ, продолжительности накопления 60 с и потенциале накопления равном 0 мВ, удаётся получить закономерное увеличение площади пика на вольтамперограмме при повышении концентрации пероксида водорода в диапазоне от 0,02 мг/см³ до 0,2 мг/см³ ($r = 0,99$). Пик электровосстановления пероксида водорода регистрируется в области потенциалов минус (1200 ± 100) мВ.

При внесении стандартных растворов АО (кверцетин, аскорбиновая и галловая кислоты) происходит снижение пика электровосстановления Н₂О₂ на вольтамперограмме, которое возрастает при увеличении количеств вносимых АО ($r = -0,99$). При этом степень снижения зависит от природы АО: в большей степени занижает площадь пика введение (при равных условиях эксперимента) кверцетина, далее следует галловая и аскорбиновая кислоты. Кверцетин проявляет антиоксидантные свойства в большей степени, чем остальные АО, в пять раз больше снижает концентрацию пероксида в растворе, чем галловая кислота и в шесть раз больше, чем аскорбиновая. Высокая антиоксидантная активность кверцетина обусловлена положением гидроксильных групп и двойных связей в кольце [16].

Расхождение результатов, характеризующееся повторяемостью (СКО), колеблется от 3,5 до 11,7 % (табл. 1).

Однако добавление недостаточных количеств АО полифенольной природы приводит к прооксидантному действию, что проявляется в увеличении площади пика пероксида водорода на вольтамперограмме. В литературе [16] есть сведения о том, что в зависимости от концентрации и природы полифенолов, а также окислительно-восстановительного статуса клетки эти соединения, как и другие антиоксиданты, при аутоокислении могут образовывать Н₂О₂ и другие АФК. В нашем исследовании данное явление не изучалось, однако отмечен указанный эффект при введении в раствор, содержащий пероксид водорода экстрактов растений, галловой кислоты и кверцетина. Следует увеличить аликвоту раствора, испытываемого на антиоксидантные свойства, для подавления прооксидантного эффекта.

Таблица 1 / Table 1

Метрологические характеристики определения антиоксидантов
Metrological characteristics for the antioxidants detection

Вещество / Substance	Повторяемость (СКО, %) Repeatability (RSD, %)	Линейность Linearity (R)
Кверцетин / Quercetin	8,1	0,99
Галловая кислота / Gallic acid	3,5	
Аскорбиновая кислота / Ascorbic acid	11,7	

Таблица 2 / Table 2

Метрологические характеристики результатов определения антиоксидантных свойств
в экстрактах из растений методом инверсионной вольтамперометрии (стандарт – кверцетин)
Metrological characteristics of detecting the antioxidant properties
of plant raw material by stripping voltammetry (standard – quercetin)

Объект / Object	Линейность (R) Linearity (R)	Повторяемость (СКО, %) Repeatability (RSD, %)	Открываемость Open rate, %
Хвоя пихты сибирской <i>Abies sibirica</i> L. needles	0,99	4,0	99,0
Листья облепихи <i>Hippophae rhamnoides</i> L. leaves	1,00	8,6	92,3
Ягоды облепихи <i>H. rhamnoides</i> berries	1,00	9,5	87,5

Таблица 3 / Table 3

Содержание антиоксидантов (АО) в образцах хвои / Antioxidant (AO) content in fir needle samples

Объект Object	Суммарное содержание АО, мг/г AO total content, mg/g		Содержание полифенолов (в пересчёте на галловую кислоту), мг/г / Polyphenol total content (in terms of gallic acid), mg/g	R
	в пересчёте на галловую кислоту / in terms of gallic acid	в пересчёте на кверцетин / in terms of quercetin		
<i>A. sibirica</i>	168,9 ± 1,8	33,8 ± 0,4	32,3 ± 2,0	0,95
<i>A. koreana</i>	189,0 ± 10,0	37,8 ± 2,0	47,2 ± 2,8	
<i>P. menziesii</i>	567 ± 29	113 ± 6	73,8 ± 1,1	

Полученные данные позволили далее применить методику для определения АО в растительных экстрактах.

Метрологические характеристики результатов определения антиоксидантов в экстрактах растений. Согласно полученным данным методика валидна для определения АО в пересчёте на кверцетин как для экстрактов облепихи, так и для экстрактов пихты сибирской (табл. 2).

Установлена взаимосвязь величин содержания АО полифенольной природы в образцах хвои (определены спектрофотометрически с реактивом Фолина – Чокальтеу при $\lambda = 765$ нм) и суммой АО (определены методом ИВА) (табл. 3).

Максимальное количество суммы АО и АО полифенольной природы содержат образцы псевдотсуги Мензиса, минимальное – пихты сибирской, при этом величины сопоставимы с аналогичными для пихты белой (*Abies alba* Mill.), образцы хвои которой были со-

браны в Южных Карпатах (Румыния) в 2020 г. [17]. Именно данному классу соединений отводится роль в антимикробной активности, доказано, что экстракты с данными соединениями обладают антибактериальным эффектом.

В ягодах облепихи (в пересчёте на абсолютно сухое вещество) содержание АО (по кверцетину) составило $66,2 \pm 4,1$ мг/г, листьях – $38,6 \pm 1,6$ мг/г. Таким образом, из ягод экстрагируются АО, определяемые методом ИВА, больше, чем из хвои пихты корейской и сибирской, но почти в два раза меньше, чем из хвои псевдотсуги. Содержание суммы АО в листьях облепихи сопоставимо с аналогичным показателем для хвои пихт сибирской и корейской.

Заключение

Получен положительный опыт использования усовершенствованной методики инверсионно-вольтамперометрического определения АО в водно-спиртовых экстрак-

тах облепихи и хвой пихт в среде фосфатного буферного раствора с рН 6,8 с добавлением пероксида водорода в качестве модели активной формы кислорода. В качестве аналитической характеристики использована величина снижения площади пика электровосстановления пероксида водорода. Метод позволяет получать воспроизводимые результаты для растворов, хорошо смешивающихся с водой и представлять результаты, как в пересчёте на какой-либо стандарт АО, так и в эквивалентных объёмах изучаемых экстрактов на массу инактивируемого пероксида водорода. Таким образом, установлен чёткий алгоритм, позволяющий получать данные о содержании суммы АО в растительном сырье и, как следствие, оценивать ценность сырья и физиологическое состояние растений при мониторинговых исследованиях.

Литература

1. Узбеков М.Г. Перекисное окисление липидов и антиоксидантные системы при психических заболеваниях. Сообщение 1 // Социальная и клиническая психиатрия. 2014. Т. 24. № 4. С. 97–103.
2. Гаврилова О.А. Особенности процесса перекисного окисления липидов в норме и при некоторых патологических состояниях у детей (обзор литературы) // Acta Biomedica Scientifica. 2017. Т. 2. № 4. С. 15–22.
3. Головки 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
4. Надеев А.Д., Зинченко В.П., Авдонин П.В., Гончаров Н.В. Токсические и сигнальные свойства активных форм кислорода // Токсикологический вестник. 2014. № 2. С. 22–27.
5. 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.
6. Череватенко А.А. Экологические факторы риска для здоровья человека // Журнал фундаментальной медицины и биологии. 2018. № 3. С. 39–45.
7. 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
8. 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

9. 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
10. Буркова В.Н., Сергун В.П., Иванов А.А. Химический состав и фармакологическая активность водного экстракта пихты сибирской (*Abies sibirica* L.) // Химия растительного сырья. 2022. № 2. С. 19–34. doi: 10.14258/jcrpm.20220210469
11. Фокина А.И., Адамович Т.А., Трефилова Л.В. Подходы к определению антиоксидантов в пробах хвой различных представителей семейства сосновые // Химия растительного сырья. 2026. № 2. С. 255–262. doi: 10.14258/jcrpm.20260217651
12. Фокина А.И., Нилова А.Б., Фоминых Е.Г., Сазанов А.В. Методические подходы к потенциометрическому определению содержания антиоксидантов // Теоретическая и прикладная экология. 2025. № 2. С. 54–62. doi: 10.25750/1995-4301-2025-2-054-062
13. Тринеева О.В. Методы определения антиоксидантной активности объектов растительного и синтетического происхождения в фармации (обзор) // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2017. № 4. С. 180–197.
14. 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
15. 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.
16. Ziyatdinova G.K., Budnikov H.C. Natural phenolic antioxidants in bioanalytical chemistry: state of the art and prospects of development // Russ. Chem. Rev. 2015. V. 84. No. 2. P. 194–224. doi: 10.1070/RCR4436
17. Geana E.I., Ciucure C.T., Tamaian R., Marinas I.C., Gaboreanu D.M., Stan M., Chitescu C.L. Antioxidant and wound healing bioactive potential of extracts obtained from bark and needles of softwood species // Antioxidants. 2023. V. 12. No. 7. Article No. 1383. doi: 10.3390/antiox12071383

References

1. Uzbekov M.G. Lipid peroxidation and antioxidant defense systems in mental disorders. Part 1 // Social and clinical psychiatry. 2014. V. 24. No. 4. P. 97–103 (in Russian).
2. Gavrilova O.A. Features of lipid peroxidation process in normal conditions and in various pathological conditions in children (review of literature) // Acta Biomedica Scientifica. 2017. V. 2. No. 4. P. 15–22 (in Russian).
3. Golovko T.K., Silina E.V., Lashmanova E.A., Kozlovskaya 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

4. Nadeev A.D., Zinchenko V.P., Avdonin P.V., Goncharov N.V. Toxic and signal properties of active forms of oxygen // Toxicological review. 2014. No. 2. P. 22–27 (in Russian).

5. Abdurakhmanov G.M., Gasangadzhieva A.G., Abdurakhmanova 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 Rossijskoj akademii nauk. Seriya geograficheskaya. 2008. No. 4. P. 109–111 (in Russian).

6. Cherevatenko A.A. Environmental risk factors for public health // Zhurnal fundamentalnoy meditsiny i biologii. 2018. No. 3. P. 39–45 (in Russian).

7. Tseylikman V.E., Lukin A.A. On the effect of oxidative stress on the human body // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal. 2022. V. 1. No. 3. P. 206–211 (in Russian). doi: 10.23670/IRJ.2022.117.3.037

8. 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

9. 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

10. Burkova V.N., Sergun V.P., Ivanov A.A. Chemical composition and pharmacological activity of aqueous extract of Siberian fir (*Abies sibirica* L.) // Chemistry of plant raw material. 2022. No. 2. P. 19–34 (in Russian). doi: 10.14258/jcprm.20220210469

11. Fokina A.I., Adamovich T.A., Trefilova L.V. Approaches to the determination of antioxidants in needle samples of various representatives of the Pine family // Chemistry of plant raw material. 2026. No. 2. P. 255–262 (in Russian). doi: 10.14258/jcprm.20260217651

12. Fokina A.I., Nilova A.B., Fominykh E.G., Sazanov A.V. Methodological approaches to antioxidant content by potentiometry // Theoretical and Applied Ecology. 2025. No. 2. P. 54–62 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2025-2-054-062

13. Trineeva O.V. Methods for determination of antioxidant activity of plant and synthetic origins in pharmacy (review) // Drug development & registration. 2017. No. 4. P. 180–197 (in Russian).

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

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

16. Ziyatdinova G.K., Budnikov H.C. Natural phenolic antioxidants in bioanalytical chemistry: state of the art and prospects of development // Russ. Chem. Rev. 2015. V. 84. No. 2. P. 194–224. doi: 10.1070/RCR4436

17. Geana E.I., Ciucure C.T., Tamaian R., Marinascu I.C., Gaboreanu D.M., Stan M., Chitescu C.L. Antioxidant and wound healing bioactive potential of extracts obtained from bark and needles of softwood species // Antioxidants. 2023. V. 12. No. 7. Article No. 1383. doi: 10.3390/antiox12071383