

УДК 581.1

## ОЦЕНКА МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНТИОКСИДАТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ВОДНО-СПИРТОВЫХ ЭКСТРАКТОВ НА ПРИМЕРЕ *R. ACICULARIS*

© *Е.В. Томтосова*<sup>1\*</sup>, *В.М. Николаев*<sup>1</sup>, *Е.К. Румянцев*<sup>1</sup>, *Н.К. Чирикова*<sup>2</sup>, *Н.И. Петрова*<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Якутский научный центр комплексных медицинских проблем,  
ул. Кулаковского, 6, Якутск, 677000, Россия, [ytomtsova@mail.ru](mailto:ytomtsova@mail.ru)

<sup>2</sup> Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова,  
ул. Кулаковского, 42, Якутск, 677007, Россия

<sup>3</sup> Арктический государственный агротехнологический университет, 3 км,  
Сергеляхское ш., 3, Якутск, 677007, Россия

Окислительный стресс, лежащий в основе патогенеза более 200 заболеваний, актуализирует поиск природных антиоксидантов. Шиповник иглистый (*Rosa acicularis* Lindl.), произрастающий в экстремальных условиях, представляет интерес благодаря высокому содержанию биологически активных веществ, однако его антиоксидантный потенциал изучен недостаточно по сравнению с другими видами рода *Rosa*. В работе проведена комплексная оценка антиоксидантной активности водно-спиртовых экстрактов листьев, мякоти плодов и семян *R. acicularis*, собранных в Якутии, с использованием методов:  $Fe^{2+}$ -индуцированного перекисного окисления желточных липопротеидов, ДФПГ-теста и хемиллюминесценции. Установлено, что фитохимический профиль экстрактов разных органов растения значительно варьирует: листья богаты фенолами (140.99 мг/г) и флавоноидами (2.51 мг/г), мякоть плодов – аскорбиновой (40.71 мг/г) и галловой кислотами (4.35 мг/г), семена – фенилпропаноидами (1.51 мг/г). Антиоксидантная активность экстрактов показала зависимость от метода анализа: экстракты листьев эффективны в радикал-связывающих тестах (ДФПГ), мякоти – в хелатировании металлов ( $Fe^{2+}$ -модель), семена – малоактивны. Результаты подчеркивают необходимость комбинирования методов для объективной оценки, учитывающей механизмы действия антиоксидантов и специфику растительного сырья. Исследование подтверждает перспективность *R. acicularis* как источника натуральных антиоксидантов для медицины и нутрицевтики, а также важность стандартизации подходов к анализу биоактивных экстрактов.

*Ключевые слова:* *Rosa acicularis* Lindl., антиоксиданты, ДФПГ-анализ, перекисное окисление липидов, хемиллюминесценция, экстракт.

*Список сокращений:* АОА – антиоксидантная активность, АРА – антирадикальная активность, ДФПГ – 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил, ОАЕ – общая антиоксидантная емкость, ПОЛ – перекисное окисление липидов, ПХ – пероксидаза хрена.

**Для цитирования:** Томтосова Е.В., Николаев В.М., Румянцев Е.К., Чирикова Н.К., Петрова Н.И. Оценка методов определения антиоксидантного потенциала водно-спиртовых экстрактов на примере *R. acicularis* // Химия растительного сырья. 2026. №1. С. 181–190. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20260117389>.

### Введение

Окислительный стресс, вызванный дисбалансом между образованием свободных радикалов и активностью антиоксидантной системы, играет ключевую роль в патогенезе более 200 заболеваний, включая сердечно-сосудистые нарушения, нейродегенеративные процессы и онкологию [1–3]. В связи с этим поиск природных источников антиоксидантов, способных нейтрализовать активные формы кислорода (А, остается одной из приоритетных задач современной биохимии и фармакологии. Растения рода *Rosa* L. (сем. *Rosaceae*), в частности шиповник иглистый (*Rosa acicularis* Lindl.), представляют значительный интерес благодаря тому, что его плоды, листья и цветы богаты биоактивными соединениями, включая витамин С, флавоноиды, полифенолы, каротиноиды и другие вещества, обладающие выраженной антиоксидантной активностью. *R. acicularis* – распространенный вид растения, произрастает в суровых условиях (Сибирь,

\* Автор, с которым следует вести переписку.

Северная Америка, Северная Европа), что может влиять на синтез защитных вторичных метаболитов (например, антиоксидантов) [4]. По сравнению с шиповником собачьим (*Rosa canina* L.) или шиповником морщинистым (*Rosa rugosa* Thunb.), вид *R. acicularis* исследован меньше, что открывает возможности для новых исследований [5, 6].

Водно-спиртовые экстракты, сочетающие полярные и неполярные растворители, являются эффективным средством для извлечения разнообразных фитокомпонентов, что делает их ценным объектом для исследования. Однако оценка антиоксидантного потенциала таких экстрактов требует применения комплексного подхода, поскольку разные методы анализа (например, ДФПГ, FRAP, ABTS<sup>+</sup>, ORAC) основаны на различных механизмах взаимодействия с радикалами и могут давать неоднозначные результаты. Кроме того, на точность измерений могут влиять факторы, связанные с составом экстракта, такие как синергия между антиоксидантами, их концентрация и стабильность [7].

Несмотря на растущий интерес к *R. acicularis* как к источнику антиоксидантов, сравнительный анализ методов определения ее антиоксидантной активности остается недостаточно изученным. Данная работа направлена на систематизацию и оценку наиболее распространенных методов тестирования антиоксидантного потенциала водно-спиртовых экстрактов на примере *R. acicularis*. Результаты исследования позволят определить оптимальные подходы для стандартизации экстрактов, что имеет важное значение для их дальнейшего применения в медицине, нутрицевтике и косметологии в качестве натуральных антиоксидантных агентов.

### **Материал и методы**

В качестве объектов исследования были использованы водно-этанольные экстракты листьев, мякоти плодов и семян дикорастущего растения – шиповника иглистого (*Rosa acicularis* Lindl.), собранного на территории Якутии. Сбор и хранение сырья проводились согласно требованиям Государственной фармакопеи Российской Федерации. Растительное сырье хранилось при температуре 18 °С, в защищенном от света месте. Экстракцию проводили 60% этиловым спиртом в соотношении 1 : 30.

Спектрофотометрические исследования проводили на спектрофотометре СФ-2000 (ОКБ Спектр, Санкт-Петербург): методика количественного определения фенольных соединений по Фолина-Чокальтеу [8], методика количественного анализа флавоноидов с применением хлорида алюминия [9], методика количественного анализа фенолпропаноидов [10].

Определение антиоксидантного потенциала водно-спиртовых экстрактов проводилось с использованием следующих методик: хемилюминесцентный метод окисления люминола перекисью водорода, катализируемое пероксидазой хрена на хемилюминометре Lum-1200 (Россия) [11], Fe<sup>2+</sup>-индуцированное перекисное окисление липидов в модельной системе желточных липопротеидов [12] и ДФПГ-тест [13] на спектрофотометре Cary 100 UV-Vis (Agilent Technologies, США).

Все эксперименты проводились в четырехкратном повторении. Статистическая обработка результатов осуществлялась с помощью программы Statistica 10. Различия между группами оценивались с помощью U-теста Манна-Уитни. Корреляции определялись с применением ранговой корреляции Спирмена. Статистически значимым различием считалось значение  $P \leq 0.05$ .

### **Результаты и обсуждение**

Исследование *R. acicularis* перспективно, поскольку экстракты данного растения обладают высокой концентрацией биологически активных веществ полезных для здоровья, что подтверждается как традиционным использованием в народной медицине, так и современными исследованиями [14]. Изучение *R. acicularis* может способствовать разработке новых лекарственных средств и функциональных продуктов, обладающих антиоксидантными свойствами для медицины и промышленности.

В результате фитохимического анализа экстрактов различных частей *R. acicularis* (листья, мякоть плодов, семена) выявлены значительные различия в содержании биологически активных соединений. Суммарное содержание фенольных соединений было максимально в листьях (140.99±0.21 мг/г сухого веса) и мякоти плодов (127.37±0.28 мг/г), что указывает на их потенциал как источников антиоксидантов. В семенах концентрация фенолов была существенно ниже (31.54±0.17 мг/г). Флавоноиды преобладали в листьях (2.51±0.09 мг/г), тогда как в мякоти (0.45±0.02 мг/г) и семенах (0.23±0.02 мг/г) их содержание было минимально.

Фенилпропаноиды были обнаружены в значимых количествах в листьях ( $1.91 \pm 0.05$  мг/г) и семенах ( $1.51 \pm 0.06$  мг/г), но практически отсутствовали в мякоти ( $0.55 \pm 0.02$  мг/г). Аскорбиновая кислота резко доминировала в мякоти плодов ( $40.71$  мг/г), что на два порядка выше, чем в листьях ( $0.54$  мг/г). В семенах аскорбиновая кислота не была обнаружена вовсе. Галловая кислота была наиболее концентрирована в мякоти ( $4.35$  мг/г), тогда как в семенах ( $0.31$  мг/г) и листьях ( $0.14$  мг/г) ее содержание было незначительно.

Полученные нами данные показали, что листья *R. acicularis* являлись богатым источником фенолов и флавоноидов, что характерно для фотосинтезирующих тканей, которые защищаются от окислительного стресса [15]. Мякоть плодов выделялась экстремально высоким содержанием аскорбиновой и галловой кислот, что подчеркивает ее ценность для пищевых и фармацевтических применений. Семена содержали умеренное количество фенилпропаноидов, возможно, они играют роль в защите зародыша растения.

Нужно отметить, что спектрофотометрические методы измерения антиоксидантной способности имеют ограничения из-за наличия пигментов в экстрактах растительного происхождения [16]. Пигменты, присутствующие в исследуемых образцах, поглощают в той же области длин волн, что мешает точному измерению поглощения радикаловДФПГ и при  $Fe^{2+}$ -индуцированном перекисном окислении липидов (ПОЛ). Для этого нами изучены спектры поглощения водно-этанольных экстрактов: листьев, мякоти плодов и семян *R. acicularis* при разных длинах волн (рис. 1).

При этом экстракты листьев дали максимумы поглощения при  $\lambda_{max} = 318$  нм, мякоти плодов  $\lambda_{max} = 290$  нм и семена  $\lambda_{max} = 288$  нм. Таким образом, наличие пигментов в исследуемых экстрактах не мешало определению антиоксидантной активности спектрофотометрическими методамиДФПГ и при  $Fe^{2+}$ -индуцированном ПОЛ, поскольку в пределах длин волн  $\lambda = 517-570$  нм оптическая плотность экстрактов приближалась к нулю.

Для оценки антиоксидантного потенциала таких экстрактов были проведены разные методы анализаДФПГ-тест и  $Fe^{2+}$ -индуцированное ПОЛ, хемилюминесценция (люминол + пероксидаза).

Максимальная антиоксидантная активность (АОА) в водно-спиртовых экстрактах листьев ( $55.98 \pm 3.01\%$ ) была достигнута при низкой концентрации экстракта –  $0.83$  мг/мл, что указывает на высокую эффективность даже в малых дозах (табл. 1).

Наибольшая активность в мякоти плодов –  $58.31 \pm 1.62\%$  наблюдалась при высокой концентрации экстракта –  $3.33$  мг/мл, но снижалась на  $20\%$  при уменьшении дозы до  $0.83$  мг/мл. Резкое снижение АОА в экстрактах семян с  $48.68 \pm 3.75\%$  до  $25.70 \pm 1.03\%$  при уменьшении концентрации экстрактов от  $3.33$  до  $0.83$  мг/мл, свидетельствовало о низкой стабильности антиоксидантного эффекта. Вероятно, экстракты мякоти плодов наиболее эффективны в подавлении  $Fe^{2+}$ -индуцированного окисления при высоких концентрациях, тогда как экстракты листьев в нашем случае демонстрировали дозозависимый парадокс.

Высокая антирадикальная активность (АРА) сохранялась даже при низких концентрациях водно-этанольного экстракта ( $17.77 \pm 0.08\%$  при  $6.66$  мкг/мл), что подтверждает наличие стабильного радикал-связывающего эффекта исследуемых соединений (табл. 2).

Было отмечено резкое снижение АРА с  $88.88 \pm 0.07\%$  до  $2.42 \pm 0.14\%$  при уменьшении концентрации экстрактов мякоти плодов от  $660$  до  $6.66$  мкг/мл, что может быть связано с низким содержанием флавоноидов. Отсутствие данных при концентрации  $6.66$  мкг/мл экстракта семян, а также резкое снижение радикальной активности на  $83\%$  в концентрациях экстрактов от  $660$  мкг/мл до  $66$  мкг/мл указывало на недостаточную эффективность в низких дозах. Полученные данные свидетельствуют о том, что листья – наиболее эффективны в нейтрализацииДФПГ, плоды требуют высоких концентраций для достижения значимой радикальной активности.

Максимальная антиоксидантная емкость (АОЕ) ( $82.74 \pm 1.78\%$ ) была отмечена при концентрации экстракта листьев –  $1.65$  мкг/мл, снижалась до  $36.03\%$  при  $0.04$  мкг/мл, что подтверждает дозозависимый эффект (табл. 3).

Умеренная антиоксидантная емкость была отмечена при концентрации экстракта мякоти плодов –  $3.33$  мкг/мл ( $56.23\%$ ) с резким падением до  $11.79\%$  при концентрации экстракта  $0.82$  мкг/мл. В экстрактах семян также отмечается резкое снижение антиоксидантной емкости с уменьшением концентрации экстракта, что подтверждает дозозависимый эффект, вероятно, связанный с незначительным содержанием в семенах фенольных соединений. Листья доминируют в подавлении окисления люминола, плоды и семена проявляют слабую активность.

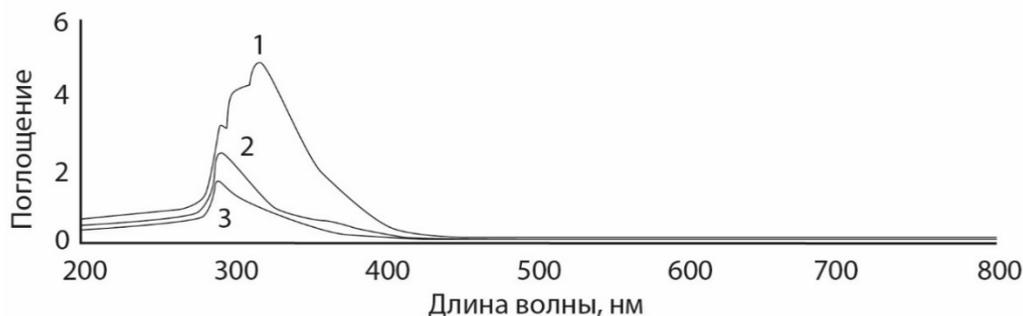


Рис. 1. Спектры поглощения пигментов водно-спиртовых экстрактов *R. acicularis* при разных длинах волн: 1 – 2.2 мг/мл экстракт листьев; 2 – 2.2 мг/мл экстракт мякоти плодов; 3 – 2.2 мг/мл экстракт семян

Таблица 1. Антиоксидантные свойства экстрактов *R. acicularis* при  $Fe^{2+}$ -индуцированном перекисном окислении липопротеидов в зависимости от концентрации экстракта

Листья		Плоды		Семена	
с, мг/мл	АОА, %	с, мг/мл	АОА, %	с, мг/мл	АОА, %
3.33	42.19±0.87	3.33	58.31±1.62*^	3.33	48.68±3.75**
1.65	41.85±7.24	1.65	55.44±3.95*^	1.65	41.49±2.22
0.83	55.98±3.01	0.83	46.82±1.47*^	0.83	25.70±1.03**

Примечание: АОА – антиоксидантная активность. Установлена статистическая значимость между группами: \* – листья и плоды; \*\* – листья и семена, ^ – плоды и семена, уровень статистической значимости  $P \leq 0.05$ .

Таблица 2. Антиоксидантные свойства экстрактов *R. acicularis* при взаимодействии со свободным радикалом ДФПГ в зависимости от концентрации экстракта

Листья		Плоды		Семена	
с, мг/мл	АРА, %	с, мг/мл	АРА, %	с, мг/мл	АРА, %
660	88.51±0.02	660	88.88±0.07^	660	80.96±0.00**
66	78.71±0.04	66	33.95±0.10*^	66	13.82±0.10**
6.66	17.77±0.08	6.66	2.42±0.14*	6.66	–

Примечание: АРА – антирадикальная активность. Установлена статистическая значимость между группами: \* – листья и плоды; \*\* – листья и семена, ^ – плоды и семена, уровень статистической значимости  $P \leq 0.05$ .

Таблица 3. Антиоксидантные свойства экстрактов *R. acicularis* при окислении люминола перекисью водорода в зависимости от концентрации экстракта

Листья		Плоды		Семена	
с, мг/мл	АОЕ, %	с, мг/мл	АОЕ, %	с, мг/мл	АОЕ, %
1.65	82.74±1.78	3.33	56.23±3.45*^	13.2	35.92±8.01**
0.08	53.16±2.35	1.65	35.10±9.1*^	6.66	19.59±4.66**
0.04	36.03±6.09	0.82	11.79±7.56*	3.33	12.1±3.29**

Примечание: АОЕ – антиоксидантная емкость. Установлена статистическая значимость между группами: \* – листья и плоды; \*\* – листья и семена, ^ – плоды и семена, уровень статистической значимости  $P \leq 0.05$ .

Таким образом, экстракты листьев демонстрировали стабильную антиоксидантную активность во всех тестах, особенно в низкодозовых режимах, что согласовывалось с их высоким содержанием фенолов (140.99 мг/г) и флавоноидов (2.51 мг/г). Экстракты мякоти плодов были наиболее эффективны в  $Fe^{2+}$ -модели (АОА 58.31%), что может объясняться высоким содержанием аскорбиновой (40.71 мг/г) и галловой кислот (4.35 мг/г), но слабы в радикал-связывающих тестах. Что касается экстрактов семян, они показывали низкую активность во всех экспериментах, что коррелировало с их бедным фитохимическим профилем (31.54 мг/г фенолов, а также отсутствием витамина С).

Для подведения итогов по полученным результатам оценки антиоксидантной активности экстрактов в данной работе нужно упомянуть о механизмах детекции антиоксидантных свойств использованных нами методов.

*Fe<sup>2+</sup>-индуцированное перекисное окисление липидов.* Антиоксидантные свойства растительных экстрактов *R. acicularis* оценивали на модели окисления желточных липопротеидов. Реакцию перекисного окисления липидов инициировали внесением металла с переменной валентностью в виде сульфата железа (II):



где LOOH – гидроперекись липидов; L\* – липидный радикал; LO\* – алкоксильный радикал; LOO\* – радикал липоперекиси; LH – полиненасыщенные жирные кислоты [17].

Принцип метода основан на определении содержания конечного продукта перекисного окисления липидов – малонового диальдегида, который при взаимодействии с тиобарбитуровой кислотой образует окрашенный триметиновый комплекс, имеющий максимум поглощения при 530–532 нм (рис. 2).

Основным недостатком данного метода является трудоемкость, продолжительность этапов исследования и большое количество манипуляций (инкубация, нагревание, центрифугирование). Яичный желток – биологический материал, что приводит к различиям между партиями анализов. Определение продуктов окисления (например, ТБК-АП) является трудоемким и подверженным помехам (например, от пигментов). Реактивы: сульфат железа и тиобарбитуровую кислоту необходимо готовить в день анализа.

Преимуществами данной методики являются доступность реагентов (фосфатно-солевой буфер, трихлоруксусная и тиобарбитуровая кислоты) и использование стандартного лабораторного оборудования: термостат, водяная баня и спектрофотометр.

*ДФПГ-мет.* В органических растворителях хромоген-радикал ДФПГ имеет максимум поглощения в видимой области спектра  $\lambda = 517$  нм, окраска исчезает при взаимодействии радикала с веществами-восстановителями, в нашем случае с веществами-восстановителями, находящимися в растительных экстрактах (рис. 3).

Причем данная реакция может протекать по двум независимым механизмам: первый механизм – НАТ (hydrogen atom transfer) протекает с наибольшей скоростью в неполярных растворителях и сопровождается передачей атома водорода от антиоксиданта; второй механизм – SPLET (sequential proton loss – electron transfer), этот механизм протекает медленнее по сравнению с первым, основан на передаче электрона молекулой ионизированного фенольного антиоксиданта молекуле ДФПГ и преобладает в растворителях, имеющих высокое сродство к протону (табл. 4) [18, 19].

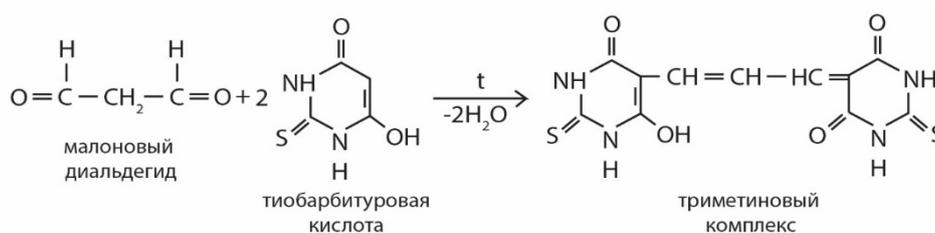


Рис. 2. Механизм образования окрашенного триметинового комплекса, при взаимодействии малонового альдегида и тиобарбитуровой кислоты

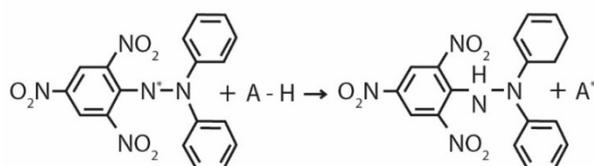


Рис. 3. Реакция восстановления 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила при взаимодействии с антиоксидантом

Таблица 4. Механизмы восстановления ДФПГ-радикала

Механизм	Реакция
НАТ	$\text{ДФПГ}^* + \text{АН} \rightarrow \text{ДФПГ-Н} + \text{A}^*$
SPLET	$\text{A}^* + \text{ДФПГ}^* \rightarrow \text{A-ДФПГ}$

Примечание: ДФПГ\* – 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил; АН – антиоксидант; ДФПГ-Н – 2,2-дифенил-1-пикрилгидразин.

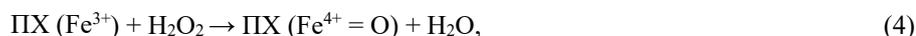
При этом основные недостатки данного метода заключаются в том, что он является нерелевантным к биологическим системам (реакция проходит в нефизиологических условиях, часто в органических растворителях, например, метаноле или этаноле); ограниченная специфичность: ДФПГ реагирует только с антиоксидантами, способными отдавать водород, игнорируя другие механизмы (например, хелатирование металлов); проблемы растворимости (некоторые антиоксиданты, например, липофильные, плохо растворяются в используемых растворителях); пигменты растений или мутные образцы могут мешать спектрофотометрическому измерению. Помимо методологических проблем, существуют сложности и с доступностью реактива, в виду его высокой стоимости.

Основным преимуществом ДФПГ-теста является легкость исполнения, что значительно влияет на продолжительность исследования, которое включает только инкубацию 20 мин и измерение.

*Хемилюминесцентный метод окисления люминола перекисью водорода, катализируемого пероксидазой хрена.* Принцип метода заключается в том, что люминол взаимодействует с перекисью водорода в присутствии пероксидазы хрена с образованием 3-аминофталата (3-АФА\*) в возбужденном состоянии. 3-АФА\* переходит на нижний энергетический уровень с испусканием кванта света, который фиксирует прибор. Добавление экстрактов, в состав которых входят вещества, обладающие антиоксидантными свойствами, которые взаимодействуют с радикалами и прерывают цепную реакцию, препятствуя образованию фотона (рис. 4) [20].

Хемилюминесценция люминола в присутствии пероксидазы хрена (ПХ) и перекиси водорода – это классическая биохимическая реакция, широко используемая в аналитических методах. Механизм включает несколько ключевых этапов [21]:

Первый этап – это активация ПХ перекисью водорода:



где ПХ взаимодействует с перекисью, образуя промежуточное соединение – оксиферрильный комплекс ( $\text{Fe}^{4+} = \text{O}$ ). Данный комплекс обладает высокой окислительной способностью.

Второй этап – окисление люминола. Оксиферрильный комплекс ПХ окисляет люминол, отнимая электроны. Люминол превращается в 3-АФА\* в возбужденном электронном состоянии:



где \* – обозначает возбужденное состояние молекулы.

Третий этап – хемилюминесценция. При возврате 3-АФА\* из возбужденного состояния в основное происходит испускание фотона света ( $\lambda = 425$  нм, синее свечение):



Кинетические кривые хемилюминесценции отражают две стадии реакции: стадию увеличения интенсивности хемилюминесценции и стадию плато. Для расчета антиоксидантной емкости использовали изменение светосуммы хемилюминесценции за определенное время в контрольном и исследуемом образцах (рис. 5).

Недостатками данного метода, на наш взгляд, являются: реакция чувствительна к рН, температуре и ионной силе в связи с тем, что активность ПХ может колебаться, влияя на воспроизводимость; ограниченный спектр активных форм кислорода (система специфична для перекиси водорода и не оценивает активность других активных форм кислорода). Также использование данной методики предполагает наличие специального анализатора – хемилюминометра и соответствующего программного обеспечения для расчета площади кинетики.

К преимуществам методики хемилюминесценции можно отнести чувствительность исследования к малым концентрациям экстрактов, которая варьирует в зависимости от используемого органа растения.

Исходя из механизмов указанных выше методов определения антиоксидантной активности в экстрактах растений, можем предположить их специфичность к определенным антиоксидантам (табл. 5).

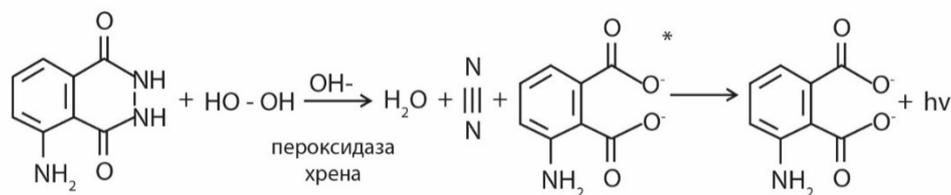


Рис. 4. Механизм реакции окисления люминола перекисью водорода, катализируемого пероксидазой хрена

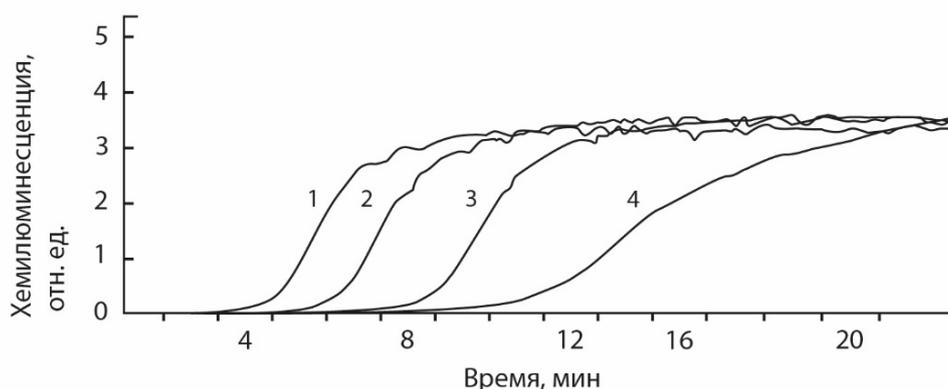


Рис. 5. Влияние водно-этанольных экстрактов *R. acicularis* на кинетику хемилюминесценции: 1 – контрольный образец; 2 – 0.0013 г/л экстракт листьев; 3 – 0.0013 г/л экстракт мякоти плодов; 4 – 0.0013 г/л экстракт семян

Таблица 5. Специфичность методов определения антиоксидантной активности экстрактов растений

Метод	Типы антиоксидантов
ДФПГ-тест	Водорастворимые соединения: флавоноиды, аскорбиновая кислота, фенолкси-лоты
Fe <sup>2+</sup> -индуцированное перекис-ное окисление липидов	Липофильные антиоксиданты: токоферолы, каротиноиды, липофильные фенолы
Хемилюминесценция	Универсальные антиоксиданты, взаимодействующие с активными формами кис-лорода (ОН•, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , O•)

Таким образом, выявлена зависимость антиоксидантной активности от метода анализа, так, при использовании метода Fe<sup>2+</sup>-индуцированное окисление желточных липопротеидов наиболее эффективны были плоды (АОА 58.31% при 3.33 мг/мл), что, вероятно, связано с высоким содержанием аскорбиновой кислоты, способной хелатировать ионы металлов; тест с ДФПГ показал, что максимальная активность наблюдалась у листьев (АРА 88.51% при 660 мкг/мл), что возможно объяснить их богатым фенольным и флавоноидным составом, обеспечивающим нейтрализацию свободных радикалов; хемилюминесцентный метод показал, что в листьях отмечалась высокая антиоксидантная емкость даже при низких концентрациях экстракта (АОЕ 82.74% при 1.65 мкг/мл и 36.03% при 0.04 мкг/мл), возможно, это объясняется способностью фенолов ингибировать окисление люминола. Полученные результаты определения антиоксидантной активности существенно варьируют в зависимости от выбранного метода, что подчеркивает важность комплексного подхода при оценке.

Если учитывать влияние фитохимического состава на антиоксидантные свойства водно-этанольных экстрактов *R. acicularis*, можно прийти к выводам, что экстракты листьев обладают высоким содержанием фенолов (140.99 мг/г) и флавоноидов (2.51 мг/г), что обеспечивает универсальную активность во всех тестах. В экстрактах мякоти плодов отмечалось доминирование аскорбиновой (40.71 мг/г) и галловой кислот (4.35 мг/г), что делает их эффективными в Fe<sup>2+</sup>-модели, но слабыми в радикал-связывающих тестах. Низкие

показатели (АОА  $\leq$  48.68%, АРА  $\leq$  80.96%) в экстрактах семян коррелируют с минимальным содержанием биоактивных соединений (31.54 мг/г фенолов). В связи с вышесказанным антиоксидантный потенциал экстрактов напрямую зависит от их фитохимического профиля, что определяет специфику применения (например, листья – для радикал-связывающих систем, плоды – для защиты липидов).

### Заключение

Антиоксидантный потенциал водно-этанольных экстрактов *R. acicularis* зависит как от выбранного метода оценки, так и от фитохимического состава конкретной части растения. Экстракт листьев демонстрирует универсальность, экстракт плодов – специфичность в  $Fe^{2+}$ -модели, экстракт семян – низкую активность. Для объективной оценки необходимо комбинировать несколько методов (радикал-связывающие, хелатирующие, хемиллюминесцентные), учитывая механизмы действия антиоксидантов. Результаты работы открывают перспективы для разработки натуральных антиоксидантных комплексов на основе *R. acicularis*.

### Финансирование

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Якутского научного центра комплексных медицинских проблем и проекта FSRG-2026-0010 Государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ.

### Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

### Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

### Список литературы

1. Steven S., Frenis K., Oelze M., Kalinovic S., Kuntic M., Bayo Jimenez M.T., Vujacic-Mirski K., Helmstädter J., Kröll-Schön S., Münzel T., Daiber A. Vascular inflammation and oxidative stress: major triggers for cardiovascular disease // *Oxid. Med. Cell. Longev.* 2019. Article 7092151. <https://doi.org/10.1155/2019/7092151>.
2. Hajam Y.A., Rani R., Ganie S.Y., Sheikh T.A., Javaid D., Qadri S.S., Pramodh S., Alsulimani A., Alkhanani M.F., Harakeh S., Hussain A., Haque S., Reshi M.S. Oxidative stress in human pathology and aging: molecular mechanisms and perspectives // *Cells.* 2022. Vol. 11(3). 552. <https://doi.org/10.3390/cells11030552>.
3. Huang Z., Zhou L., Duan J., Qin S., Jiang J., Chen H., Wang K., Liu R., Yuan M., Tang X., Nice E.C., Wei Y., Zhang W., Huang C. Oxidative stress promotes liver cancer metastasis via RNF25-mediated E-cadherin protein degradation // *Adv. Sci.* 2024. Vol. 11(13). e2306929. <https://doi.org/10.1002/advs.202306929>.
4. Razgonova M.P., Nawaz M.A., Rusakova E.A., Golokhvast K.S. Application of supercritical CO<sub>2</sub> extraction and identification of polyphenolic compounds in three species of wild rose from Kamchatka: *Rosa acicularis*, *Rosa amblyotis*, and *Rosa rugosa* // *Plants.* 2024. Vol. 14(1). 59. <https://doi.org/10.3390/plants14010059>.
5. Igual M., García-Herrera P., Cámara R.M., Martínez-Monzó J., García-Segovia P., Cámara M. Bioactive compounds in rosehip (*Rosa canina*) powder with encapsulating agents // *Molecules.* 2022. Vol. 27(15). 4737. <https://doi.org/10.3390/molecules27154737>.
6. Belkhelladi M., Bougrine A. Rosehip extract and wound healing: a review // *J. Cosmet. Dermatol.* 2024. Vol. 23(1). Pp. 62–67. <https://doi.org/10.1111/jocd.15971>.
7. Wang S., Zhu F. Dietary antioxidant synergy in chemical and biological systems // *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2017. Vol. 57(11). Pp. 2343–2357. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015>.
8. Singleton V.L., Orthofer R., Lamuela-Raventós R.M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent // *Methods Enzymol.* 1999. Vol. 299. Pp. 152–178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1).
9. Государственная фармакопея Российской Федерации. XIII изд. М., 2015. Т. 1. 1470 с.
10. Курдюков Е.Е., Водопьянова О.А., Митишев А.В. Методика количественного определения суммы фенилпропаноидов в сырье стевии // *Химия растительного сырья.* 2020. №3. С. 115–121.
11. Владимиров Г.К., Сергунова Е.В., Измайлов Д.Ю., Владимиров Ю.А. Хемиллюминесцентная методика определения общей антиоксидантной емкости в лекарственном растительном сырье // *Вестник РГМУ.* 2016. №2. С. 65. <https://doi.org/10.24075/brsmu.2016-02-10>.
12. Клебанов Г.И., Бабенкова И.В., Теселкин Ю.О., Комаров О.С., Владимиров Ю.А. Оценка антиокислительной активности плазмы крови с применением желточных липопротеидов // *Лабораторное дело.* 1988. №5. С. 59.
13. Blois M.S. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical // *Nature.* 1958. Vol. 181(4617). 1199. <https://doi.org/10.1038/1811199a0>.

14. Olennikov D.N., Chemposov V.V., Chirikova N.K. Metabolites of prickly rose: chemodiversity and digestive-enzyme-inhibiting potential of *Rosa acicularis* and the main ellagitannin rugosin D // *Plants*. 2021. Vol. 10(11). 2525. <https://doi.org/10.3390/plants10112525>.
15. Mishra N., Jiang C., Chen L., Paul A., Chatterjee A., Shen G. Achieving abiotic stress tolerance in plants through antioxidative defense mechanisms // *Front. Plant Sci.* 2023. Vol. 14. 1110622. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1110622>.
16. Yeo J., Shahidi F. Critical re-evaluation of DPPH assay: presence of pigments affects the results // *J. Agric. Food Chem.* 2019. Vol. 67(26). 7526. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b02462>.
17. Badmus J.A., Adedosu T.O., Fatoki J.O., Adegbite V.A., Adaramoye O.A., Odunola O.A. Lipid peroxidation inhibition and antiradical activities of some leaf fractions of *Mangifera indica* // *Acta Pol. Pharm.* 2011. Vol. 68(1). Pp. 23–29.
18. Litwinienko G., Ingold K.U. Abnormal solvent effects on hydrogen atom abstraction. 3. Novel kinetics in sequential proton loss electron transfer chemistry // *J. Org. Chem.* 2005. Vol. 70(22). 8982. <https://doi.org/10.1021/jo051474p>.
19. Munteanu I.G., Apetrei C. Analytical methods used in determining antioxidant activity: a review // *Int. J. Mol. Sci.* 2021. Vol. 22(7). 3380. <https://doi.org/10.3390/ijms22073380>.
20. Измайлов Д.Ю., Демин Е.М., Владимиров Ю.А. Определение активности антиоксидантов методом измерения кинетики хемилюминесценции // *Фотобиология и фотомедицина*. 2011. Т. 7. С. 70.
21. Thorpe G.H., Kricka L.J. Enhanced chemiluminescent reactions catalyzed by horseradish peroxidase // *Methods Enzymol.* 1986. Vol. 133. Pp. 331–353. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(86\)33078-7](https://doi.org/10.1016/0076-6879(86)33078-7).

Поступила в редакцию 28 мая 2025 г.

Принята к публикации 18 августа 2025 г.

Tomtosova E.V.<sup>1\*</sup>, Nikolaev V.M.<sup>1</sup>, Rumyantsev E.K.<sup>1</sup>, Chirikova N.K.<sup>2</sup>, Petrova N.I.<sup>3</sup> EVALUATION OF METHODS FOR DETERMINATION OF ANTIOXIDANT POTENTIAL OF WATER-ETHANOL EXTRACTS OF *R. ACICULARIS*

<sup>1</sup> Yakut Scientific Center for Complex Medical Problems, st. Kulakovskogo, 6, Yakutsk, 677000, Russia, [ytomosova@mail.ru](mailto:ytomosova@mail.ru)

<sup>2</sup> North-Eastern Federal University named after. M.K. Ammosova, st. Kulakovskogo, 42, Yakutsk, 677007, Russia

<sup>3</sup> Arctic State Agrotechnological University, 3 km, Sergelyakhskoye sh., 3, Yakutsk, 677007, Russia

Oxidative stress, which underlies the pathogenesis of more than 200 diseases, actualizes the search for natural antioxidants. Prickly rose (*Rosa acicularis* Lindl.), which grows in extreme conditions, is of interest due to its high content of biologically active substances. However, its antioxidant potential has not been studied sufficiently compared to other species of the genus *Rosa*. In this work, a comprehensive evaluation of the antioxidant activity of water-ethanol extracts of leaves, fruit pulp, and seeds of *R. acicularis* collected in Yakutia was carried out using the following methods: Fe<sup>2+</sup>-induced peroxidation of yolk lipoproteins, DPPH assay, and chemiluminescence. The phytochemical profile of extracts from different plant organs was found to vary significantly: leaves are rich in phenols (140.99 mg/g) and flavonoids (2.51 mg/g), fruit pulp in ascorbic (40.71 mg/g) and gallic acids (4.35 mg/g), and seeds in phenylpropanoids (1.51 mg/g). The antioxidant activity of the extracts showed dependence on the method of analysis: leaf extracts were effective in radical-binding tests (DPPH), fruit pulp extracts were effective in metal chelation (Fe<sup>2+</sup>-model), and seeds were inactive. The results emphasize the need to combine methods for an objective evaluation that considers the mechanisms of action of antioxidants and the specificity of the plants. The study confirms the promise of *R. acicularis* as a source of natural antioxidants for medicine and nutraceuticals and the importance of standardizing approaches for analyzing bioactive extracts.

**Keywords:** *Rosa acicularis*, antioxidants, DPPH assay, lipid peroxidation, chemiluminescence, extracts.

**For citing:** Tomtosova E.V., Nikolaev V.M., Rumyantsev E.K., Chirikova N.K., Petrova N.I. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2026, no. 1, pp. 181–190. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20260117389>.

## References

1. Steven S., Frenis K., Oelze M., Kalinovic S., Kuntic M., Bayo Jimenez M.T., Vujacic-Mirski K., Helmstädter J., Kröll-Schön S., Münzel T., Daiber A. *Oxid. Med. Cell. Longev.*, 2019, article 7092151. <https://doi.org/10.1155/2019/7092151>.
2. Hajam Y.A., Rani R., Ganie S.Y., Sheikh T.A., Javaid D., Qadri S.S., Pramodh S., Alsulimani A., Alkhanani M.F., Harakeh S., Hussain A., Haque S., Reshi M.S. *Cells.*, 2022, vol. 11(3), 552. <https://doi.org/10.3390/cells11030552>.
3. Huang Z., Zhou L., Duan J., Qin S., Jiang J., Chen H., Wang K., Liu R., Yuan M., Tang X., Nice E.C., Wei Y., Zhang W., Huang C. *Adv. Sci.*, 2024, vol. 11(13), e2306929. <https://doi.org/10.1002/advs.202306929>.

\* Corresponding author.

4. Razgonova M.P., Nawaz M.A., Rusakova E.A., Golokhvast K.S. *Plants*, 2024, vol. 14(1), 59. <https://doi.org/10.3390/plants14010059>.
5. Igual M., García-Herrera P., Cámara R.M., Martínez-Monzó J., García-Segovia P., Cámara M. *Molecules*, 2022, vol. 27(15), 4737. <https://doi.org/10.3390/molecules27154737>.
6. Belkhelladi M., Bougrine A. *J. Cosmet. Dermatol.*, 2024, vol. 23(1), pp. 62–67. <https://doi.org/10.1111/jocd.15971>.
7. Wang S., Zhu F. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 2017, vol. 57(11), pp. 2343–2357. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015>.
8. Singleton V.L., Orthofer R., Lamuela-Raventós R.M. *Methods Enzymol.*, 1999, vol. 299, pp. 152–178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1).
9. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii. XIII izd.* [State Pharmacopoeia of the Russian Federation. XIII ed.]. Moscow, 2015, vol. 1, 1470 p. (in Russ.).
10. Kurdyukov Ye.Ye., Vodop'yanova O.A., Mitishev A.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2020, no. 3, pp. 115–121. (in Russ.).
11. Vladimirov G.K., Sergunova Ye.V., Izmaylov D.Yu., Vladimirov Yu.A. *Vestnik RGMU*, 2016, no. 2, p. 65. <https://doi.org/10.24075/brsmu.2016-02-10>. (in Russ.).
12. Klebanov G.I., Babenkova I.V., Teselkin Yu.O., Komarov O.S., Vladimirov Yu.A. *Laboratornoye delo*, 1988, no. 5, p. 59. (in Russ.).
13. Blois M.S. *Nature*, 1958, vol. 181(4617), 1199. <https://doi.org/10.1038/1811199a0>.
14. Olenikov D.N., Chemposov V.V., Chirikova N.K. *Plants*, 2021, vol. 10(11), 2525. <https://doi.org/10.3390/plants10112525>.
15. Mishra N., Jiang C., Chen L., Paul A., Chatterjee A., Shen G. *Front. Plant Sci.*, 2023, vol. 14, 1110622. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1110622>.
16. Yeo J., Shahidi F. *J. Agric. Food Chem.*, 2019, vol. 67(26), 7526. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b02462>.
17. Badmus J.A., Adedosu T.O., Fatoki J.O., Adegbite V.A., Adaramoye O.A., Odunola O.A. *Acta Pol. Pharm.*, 2011, vol. 68(1), pp. 23–29.
18. Litwinienko G., Ingold K.U. *J. Org. Chem.*, 2005, vol. 70(22), 8982. <https://doi.org/10.1021/jo051474p>.
19. Munteanu I.G., Apetrei C. *Int. J. Mol. Sci.*, 2021, vol. 22(7), 3380. <https://doi.org/10.3390/ijms22073380>.
20. Izmaylov D.Yu., Demin Ye.M., Vladimirov Yu.A. *Fotobiologiya i fotomeditsina*, 2011, vol. 7, p. 70. (in Russ.).
21. Thorpe G.H., Kricka L.J. *Methods Enzymol.*, 1986, vol. 133, pp. 331–353. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(86\)33078-7](https://doi.org/10.1016/0076-6879(86)33078-7).

Received May 28, 2025

Accepted August 18, 2025

#### Сведения об авторах

Томтосова Евгения Викторовна – младший научный сотрудник отдела эпидемиологии хронических неинфекционных заболеваний, [ytomtosova@mail.ru](mailto:ytomtosova@mail.ru)

Николаев Вячеслав Михайлович – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела эпидемиологии хронических неинфекционных заболеваний, [Nikolaev1126@mail.ru](mailto:Nikolaev1126@mail.ru)

Румянцев Егор Константинович – младший научный сотрудник отдела эпидемиологии хронических неинфекционных заболеваний, [tzeentch1993@mail.ru](mailto:tzeentch1993@mail.ru)

Чирикова Надежда Константиновна – доктор фармацевтических наук, профессор, [hofnung@mail.ru](mailto:hofnung@mail.ru)

Петрова Наталия Ильинична – ассистент преподавателя кафедры агрономии и химии, [nati8712@yandex.ru](mailto:nati8712@yandex.ru)

#### Information about authors

Tomtosova Evgeniya Viktorovna – Junior Researcher, Department of Epidemiology of Chronic Non-Communicable Diseases, [ytomtosova@mail.ru](mailto:ytomtosova@mail.ru)

Nikolaev Vyacheslav Mikhailovich – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Department of Epidemiology of Chronic Non-Communicable Diseases, [Nikolaev1126@mail.ru](mailto:Nikolaev1126@mail.ru)

Rumyantsev Egor Konstantinovich – Junior Researcher, Department of Epidemiology of Chronic Non-Communicable Diseases, [tzeentch1993@mail.ru](mailto:tzeentch1993@mail.ru)

Chirikova Nadezhda Konstantinovna – Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor, [hofnung@mail.ru](mailto:hofnung@mail.ru)

Petrova Natalia Ilyinichna – Assistant Professor, Department of Agronomy and Chemistry, [nati8712@yandex.ru](mailto:nati8712@yandex.ru)