

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2021

Сибирцев В.С.<sup>1</sup>, Нечипоренко У.Ю.<sup>1</sup>, Кабанов В.Л.<sup>1</sup>, Кукин М.Ю.<sup>2</sup>

## Методика электрохимического биотестирования в применении к сравнительной оценке антимикробных свойств эфирных масел

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 197376, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация;

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский филиал ФГАНУ «Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности», 196608, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Введение.** В последнее время всё более актуальной становится проблема разработки достаточно объективных, экспрессных и доступных для широкого применения способов оценки влияния различных химических соединений на динамику жизнедеятельности разных микроорганизмов; а из объектов тестирования всё больший интерес вызывают «эфирные масла» (ЭФМ), получаемые из различного растительного сырья.

**Материал и методы.** В связи с вышесказанным, в этой работе описана методика биотестирования, предусматривающая периодическую (через каждые 2 ч) регистрацию изменений pH, редокс потенциала и электропроводности жидкой питательной среды, инкубируемой в присутствии и в отсутствие жизнеспособных тестовых микроорганизмов (ТМ) и тестируемых образцов (ТО).

**Результаты.** С помощью представленной методики осуществлён сравнительный анализ антибиотической активности в отношении *Staphylococcus aureus* разных концентраций ЭФМ, полученных из 10 видов растительного сырья.

**Заключение.** Как стало видно из полученных результатов, с помощью представленной методики можно существенно более экспрессно, объективно и информативно, чем при использовании стандартных визуальных методов микробиологического тестирования, оценивать влияние на динамику жизненной активности ТМ-образцов различной продукции. При этом биологическая активность ТО в отношении ТМ в большинстве случаев монотонно уменьшалась с увеличением времени их взаимодействия. А наиболее активные среди ТО пролонгированные антимикробные свойства в отношении ТМ проявили ЭФМ, полученные из листьев *Thuja occidentalis*, *Eucalyptus globulus* и *Cupressus sempervirens*.

**Ключевые слова:** биотестирование микробиологическое; антибиотические свойства; экстракты растительные; эфирные масла.

**Для цитирования:** Сибирцев В.С., Нечипоренко У.Ю., Кабанов В.Л., Кукин М.Ю. Методика электрохимического биотестирования в применении к сравнительной оценке антимикробных свойств эфирных масел. *Токсикологический вестник*. 2021; 29(3): 50-55. DOI: <https://doi.org/10.36946/0869-7922-2021-29-3-50-55>

**Для корреспонденции:** Сибирцев Владимир Станиславович, кандидат химических наук, доцент ФГБОУ ВО СПбГХФУ МЗ РФ, 197376, г. Санкт-Петербург. E-mail: [vs1969r@mail.ru](mailto:vs1969r@mail.ru)

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила в редакцию 09 сентября 2020 / Принята в печать 22.05.2021

Sibirtsev V.S.<sup>1</sup>, Nechiporenko U.Yu.<sup>1</sup>, Kabanov V.L.<sup>1</sup>, Kukin M.Yu.<sup>2</sup>

## Electrochemical biotesting technique as applied to comparative assessment of antimicrobial properties of essential oils

<sup>1</sup>Saint Petersburg State Chemical Pharmaceutical University, Saint Petersburg, 197376, Russian Federation;

<sup>2</sup>Scientific Research Institute of the Bakery Industry, Saint Petersburg, 196608, Russian Federation

A biotesting technique is described that provides for periodic (every 2 hours) recording of changes in pH, redox potential, and electrical conductivity of a liquid culture medium incubated in the presence and in the absence of viable test microorganisms (TM) and test samples (TS). The results of a comparative analysis

using this technique of antibiotic activity against *Staphylococcus aureus* of different concentrations of «essential oils» obtained from 10 types of plant raw materials are presented. Based on this, we can conclude the following. Using the presented methodology, it is possible to assess the effect on the dynamics of the vital activity of TM of samples of various pharmaceutical, cosmetic, food, feed and other products, much more quickly, objectively and informatively than using standard visual methods of microbiological testing. The initial antibiotic activity of TS in most cases was greater than their prolonged antibiotic activity. At the same time, the mid-term (in terms of the time of interaction of TS with TM) antibiotic activity of TS was usually intermediate in value between their initial and prolonged biological activity.

**Keywords:** microbiological biotesting; antibiotic properties; plant extracts; essential oils

**For citation:** Sibirtsev V.S., Nechiporenko U.Yu., Kabanov V.L., Kukin M.Yu. Electrochemical biotesting technique as applied to comparative assessment of antimicrobial properties of essential oils. *Toksikologicheskii vestnik (Toxicological Review)*. 2021; 29(3): 50-55. DOI: <https://doi.org/10.36946/0869-7922-2021-29-3-50-55> (In Russian)

**For correspondence:** Vladimir S. Sibirtsev, PhD in Chemistry, Associate Professor, Saint Petersburg State Chemical Pharmaceutical University, Saint Petersburg, 197376, Russian Federation. E-mail: vs1969@mail.ru

**Information about the authors:**

Sibirtsev V.S., <https://orcid.org/0000-0003-0829-5213>;

Kabanov V.L., <https://orcid.org/0000-0001-9085-2984>;

Nechiporenko U.Yu., <https://orcid.org/0000-0002-4102-1129>

Kukin M.Yu., <https://orcid.org/0000-0003-1722-4644>

**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgments.** The study had no sponsorship.

Received: September 09, 2020 / Accepted: May 22, 2021

## Введение

В последнее время в фармацевтической, косметической, пищевой, кормовой и других отраслях народного хозяйства всё более актуальной становится проблема разработки достаточно объективных и в то же время экспрессных и доступных для широкого применения способов оценки влияния различных химических соединений как синтетического, так и природного происхождения на динамику жизнедеятельности разных микроорганизмов, которые могут входить в состав естественной микрофлоры человека, вызывать различные инфекционные заболевания, токсикозы, аллергические реакции, способствовать порче пищевой и иной продукции, участвовать в различных биотехнологических процессах и т.д.

Однако принятые в настоящее время в качестве стандартных при микробиологическом тестировании процедуры визуальной оценки общей выживаемости микроорганизмов либо величины зоны задержки роста их колоний требуют для своего проведения значительных затрат времени, материалов и труда квалифицированного персонала, давая в результате лишь весьма неполную, субъективную и статичную информацию о нарушениях жизнедеятельности тестовых организмов [1–3].

А из объектов тестирования всё больший интерес вызывают эфирные масла (ЭфМ), получаемые из растительного сырья разных-

ми физико–химическими способами [4]. В частности, ЭфМ в настоящее время широко применяются в фармацевтической, косметической, пищевой, кормовой и других отраслях промышленности в качестве про- либо антимикробных, нормализующих (используемых в том числе при лечении различных нервных, сердечно–сосудистых, диабетических, пищеварительных и иных заболеваний), консервирующих, антиоксидантных, ароматизирующих, вкусовых и иных видов добавок [1–8].

В связи с вышесказанным, целью настоящего исследования стала разработка экспрессной и объективной инструментальной методики оценки про- и антибиотических свойств, а также микробиологической контаминированности различной фармацевтической, косметической, пищевой, кормовой и иной продукции; с последующим анализом при помощи разработанной методики влияния на динамику жизнедеятельности микробиоты человека различных ЭфМ.

## Материал и методы

В качестве объектов исследования в настоящей работе были взяты ЭфМ, полученные из следующих видов растительного сырья: хвоя ели обыкновенной (*Picea abies*) (№ 1), хвоя сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) (№ 2), хвоя пихты сибирской (*Abies sibirica*) (№ 3), хвоя и семена кедра

сибирского (сосна сибирская кедровая, *Pinus sibirica*) (№ 4) и (№ 5) соответственно, хвоя кедра атлантического (*Cedrus atlantica*) (№ 6), ягоды можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis*) (№ 7), листья кипариса вечнозелёного (*Cupressus sempervirens*) (№ 8), листья туи западной (*Thuja occidentalis*) (№ 9), листья эвкалипта шаровидного (*Eucalyptus globulus*) (№ 10).

При этом указанные ЭФМ были закуплены у таких крупных российских их производителей, как *Mirrolla* (<https://mirrolla.ru>), *Botanika* (<https://botavikos.ru>) и *Oleos* (<https://oleos-info.ru>). Причём при наличии у этих компаний ЭФМ, получаемых из «одинаковых» видов растительного сырья (в полной мере одинаковым можно считать только сырьё, собранное в одном месте и в одно время – а у разных компаний эти параметры, естественно, были разными), предпочтение отдавалось компаниям, стоящим в начале указанного списка (т.е. *Mirrolla* имела преимущество перед *Botanika*, а последняя перед *Oleos*).

А для анализа влияния разных концентраций этих ЭФМ на динамику жизнедеятельности микроорганизмов, исходя из результатов уже имевшихся авторских работ по различным способам инструментального биотестирования [9–15], была разработана следующая методика.

Все тесты проводились в 4 повторностях, перед началом каждой из которых готовилась питательная среда (ПС), представлявшая собой стерильный водный раствор с рН  $7,2 \pm 0,2$ , содержащий 20 г/л белкового гидролизата + 5 г/л глюкозы + 2 г/л NaCl. При этом наличие глюкозы ускорило начальное развитие ТМ, обеспечивая большую экспрессность анализа. Затем указанная ПС засеивалась *Staphylococcus aureus* ATCC 29213 (которые были выбраны в качестве типичных представителей условно патогенной микрофлоры, присутствующей в человеческом организме) и инкубировалась при  $37 \pm 0,1$  °С без перемешивания, пока содержание клеток тестовых микроорганизмов (ТМ) в ней не достигало примерно  $5 \cdot 10^6$  кл/мл (что удостоверялось нефелометрическим способом по бактериальному стандарту мутности).

Далее, полученная тестовая среда (ТС, отличающаяся от исходной ПС наличием в ней значительного количества жизнеспособных ТМ) разливалась по тестовым

измерительным ёмкостям (ИЕ), в каждую из которых предварительно добавлялось (по три ИЕ в параллель) количество заданного ЭФМ, необходимое для достижения заданной его концентрации в ТС. При этом в качестве контроля использовали ТС без ЭФМ («контроль-1») и растворы с заданными концентрациями каждого из ЭФМ в стерильной ПС («контроль-2»), также помещённые в ИЕ в трёх повторностях.

Затем как тестовые, так и все контрольные ИЕ инкубировались без перемешивания при  $37 \pm 0,1$  °С в течение 6 ч. И во время этого инкубирования у ТС, содержащихся в каждой из ИЕ, с интервалом 2 ч осуществлялась регистрация рН, редокс потенциала ( $E$ , мВ) и удельной, линейной, низкочастотной электропроводности ( $X$ , мСм/см). При этом значения рН и  $E$  регистрировались с помощью иономера «Эксперт-001» (РФ) с комбинированными электродами «ЭСК-10601/7» и «ЭРП-105», соответственно. Тогда как значения  $X$  регистрировалась с помощью кондуктометра «Эксперт-002» с датчиком «УЭП-П-С», работающим на частоте 1,6 кГц.

После чего общие степени активирования (+) либо ингибирования (–) жизнедеятельности ТМ заданными концентрациями ТО после  $k$  часов их совместного инкубирования в ТС рассчитывались по формуле:

$$\varepsilon_{V,k} = (\varepsilon_{pH,k} + 0,7\varepsilon_{E,k} + 0,7\varepsilon_{X,k}) / 2,4 \quad (1)$$

При этом величины  $\varepsilon_{pH,k}$ ,  $\varepsilon_{E,k}$  и  $\varepsilon_{X,k}$  определялись отдельно по результатам измерений значений рН,  $E$  и  $X$  у ТС, содержащихся в ИЕ, в ходе инкубации этих ИЕ по формуле

$$\varepsilon_{i,k} = 100 \times (\Delta Y_{i,k} - \Delta Y_{c,i,k}) / \Delta Y_{c,i,k} \quad (2)$$

Индекс  $i$  показывает измерения по какому параметру (рН,  $E$  или  $X$ ) учитывались в формуле 2 (например  $\varepsilon_{pH,k} = 100 \times (\Delta Y_{pH,k} - \Delta Y_{c,pH,k}) / \Delta Y_{c,pH,k}$ ).

Величины  $\Delta Y_{i,k}$  и  $\Delta Y_{c,i,k}$  определялись как усреднённые по выборке из  $N$  образцов с одинаковыми концентрациями ЭФМ, приготовленных одинаковым способом из одного вида сырья (в нашем случае  $N = 3 \cdot 4 = 12$ ) изменения значений  $i$ -параметра ТС (рН,  $E$  или  $X$ ), произошедшие за  $k$  часов от начала инкубирования этой ТС в присутствии заданной концентрации ТО ( $\Delta Y_i$ , наблюдаемое в тестовых ИЕ) либо в отсутствие ТО ( $\Delta Y_c$ , наблюдаемое в «контроле-1»). Например

$\Delta Y_{pH,2} = pH_{T,2} - pH_{T,0}$ , а  $\Delta Y_{c_{X,4}} = X_{C,4} - X_{C,0}$  (где  $pH_{T,0}$  – значение pH среды в тестовой ИЕ в начале её инкубирования,  $pH_{T,2}$  – значение pH среды в тестовой ИЕ через 2 ч после начала её инкубирования,  $X_{C,0}$  – значение  $X$  среды в «контроле-1» в начале инкубирования,  $X_{C,4}$  – значение  $X$  среды в «контроле-1» через 4 ч после начала инкубирования) и т.д.

При этом ошибка определения каждой из усреднённых величин  $\varepsilon_{pH,k}$ ,  $\varepsilon_{E,k}$  и  $\varepsilon_{X,k}$  рассчитывалась стандартным образом [16–18], как  $\Delta \varepsilon_Y = t_{\alpha, N-1} \sigma_Y$ , с использованием критерия Стьюдента ( $t_{\alpha, N-1}$  для уровня достоверности  $\alpha = 0,95$  и числа степеней свободы  $N-1$ ), математического ожидания ( $\varepsilon_{Y,S} = \sum \varepsilon_{Y,i} / N$ ) и его дисперсии ( $\sigma_Y = [\sum (\varepsilon_{Y,i} - \varepsilon_{Y,S})^2 / (N-1)]^{1/2}$ ). После чего полученные значения  $\Delta \varepsilon_{pH,k}$ ,  $\Delta \varepsilon_{E,k}$  и  $\Delta \varepsilon_{X,k}$  суммировались для величины  $\varepsilon_{V,k}$  по стандартной формуле  $\Delta z(x_i) = \sum_i (\Delta x_i \delta z / \delta x_i)$  [16–18], исходя из которой  $\Delta \varepsilon_{V,k} = (\Delta \varepsilon_{pH,k} + 0,7 \Delta \varepsilon_{E,k} + 0,7 \Delta \varepsilon_{X,k}) / 2,4$ .

Величина  $\varepsilon_{V,k}$  показывала на сколько % ускорялось либо замедлялось преобразование ТМ катаболитов, присутствующих в ТС, в анаболиты после  $k$  часов их инкубации при заданной температуре в присутствии заданной концентрации заданного ЭФМ по сравнению с теми же процессами, осуществляемыми теми же ТМ в той же ТС в отсутствие ЭФМ.

Правомерность объединения в  $\varepsilon_V$  величин  $\varepsilon_{pH}$ ,  $\varepsilon_E$  и  $\varepsilon_X$  можно объяснить тем, что каждая из этих величин независимо нормировалась на контрольные значения определяющего её показателя и, таким образом, единообразно (в % по отношению к контролю) отражала изменение метаболизма ТМ в присутствии ТО, в то же время несколько по-разному характеризую это изменение (поскольку изменение pH,  $E$  и  $X$  в ТС обуславливали разные метаболические процессы, осуществляемые присутствующими там ТМ). В результате чего, суммарная величина  $\varepsilon_V$  более информативно и адекватно характеризовала изменения метаболической активности ТМ, чем каждая из величин  $\varepsilon_{pH}$ ,  $\varepsilon_E$  и  $\varepsilon_X$  по отдельности.

Последнее подтверждается тем, что для величин  $\varepsilon_V$  имела место 90 % достоверная корреляция с величинами  $\varepsilon_S$ , определяемыми для тех же концентраций тех же ЭФМ по формуле, аналогичной 2, но с применением стандартной методики [1–3] предусматривающей

подсчёт колоний ТМ, выросших после 24 ч их инкубации при 37 °С на плотной ПС (имеющей тот же состав, что и использовавшаяся нами жидкая ПС, но с добавлением 20 г/л микробиологического агар-агара) в присутствии и в отсутствие ТО. Тогда как для величин  $\varepsilon_{pH}$ ,  $\varepsilon_E$  и  $\varepsilon_X$  имела место лишь 70–80 % достоверная корреляция с величинами  $\varepsilon_S$ .

Кроме того, с помощью представленной здесь методики может быть оценена микробиологическая контаминированность ( $C_M$ ) ТО. При этом  $C_M$  может быть рассчитана по формулам, аналогичным 1 и 2, но где  $\Delta Y$  будет определяться не для тестовых, а для контрольных-1 ИЕ, а  $\Delta Y_c$  будет определяться для контрольных-2 ИЕ, содержащих ТЭ в стерильной ПС. После чего полученное значение  $C_M^*$  следует умножить на калибровочный коэффициент, определяемый предварительно на основании сравнения результатов, полученных с помощью описанной выше методики, с результатами, полученными для тех же концентраций тех же ТЭ с помощью стандартной методики микробиологического тестирования. При этом  $C_M$  будет показывать сколько жизнеспособных микроорганизмов исходно присутствовало в ТО (причем, если вместо «общенакопительной» ПС, использованной в этой работе, ТО инкубировать в селективных ПС, то указанным выше способом можно определять контаминированность ТО не только общую, но и применительно к отдельным видам и штаммам микроорганизмов).

## Результаты и обсуждение

Наиболее интересные данные, полученные описанным выше способом, представлены в табл. 1, исходя из которой можно сделать следующие выводы. В соответствии со сказанным в предыдущем разделе, пролонгированную (долгосрочную) антимицробную активность ТО мы оценивали по величине  $\varepsilon_{V,6}$ , определяемой через 6 ч инкубации ТС с ТМ в присутствии ЭФМ. При этом в порядке убывания  $\varepsilon_{V,6}$  (характеризующего, по нашим оценкам, увеличение антибиотической активности ТО) исследованные нами ЭФМ можно было упорядочить следующим образом, где в скобках после номера сырья, использованного для приготовления ЭФМ (см. «Материал и методы»), указаны соответствующие ему значения  $\varepsilon_{V,6}$  (см. таблицу):

**$\epsilon_{V,k}$  (%), определявшиеся через 2, 4 и 6 ч инкубирования *Staphylococcus aureus* в присутствии разных количеств различных «эфирных масел»**

	№ сырья									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Концентрация эфирных масел 1 об.%										
$\epsilon_{V,2}$ , %	-79	-72	-86	-74	-77	-87	-75	-98	-92	-96
$\epsilon_{V,4}$ , %	-74	-65	-76	-67	-74	-77	-65	-88	-87	-88
$\epsilon_{V,6}$ , %	-68	-61	-72	-64	-70	-66	-58	-76	-80	-78
Концентрация эфирных масел 0,5 об.%										
$\epsilon_{V,2}$ , %	-61	-53	-56	-55	-59	-45	-31	-58	-68	-77
$\epsilon_{V,4}$ , %	-46	-52	-50	-46	-54	-41	-33	-54	-62	-62
$\epsilon_{V,6}$ , %	-39	-36	-46	-37	-48	-37	-30	-50	-55	-53
Концентрация эфирных масел 0,3 об.%										
$\epsilon_{V,2}$ , %	-39	-31	-41	-33	-39	-39	-24	-43	-45	-51
$\epsilon_{V,4}$ , %	-35	-28	-37	-30	-36	-30	-26	-40	-40	-40
$\epsilon_{V,6}$ , %	-29	-25	-31	-28	-32	-25	-22	-35	-36	-36
Концентрация эфирных масел 0,1 об.%										
$\epsilon_{V,2}$ , %	-28	-20	-28	-25	-28	-22	-17	-22	-30	-28
$\epsilon_{V,4}$ , %	-25	-22	-23	-22	-24	-19	-18	-25	-25	-22
$\epsilon_{V,6}$ , %	-19	-18	-20	-19	-22	-18	-16	-22	-23	-22

Примечание. Методику определения  $\epsilon_{V,k}$ , а также соответствие № 1–10 видам сырья, использованного для приготовления эфирных масел см. в разделе «Материал и методы». Относительная ошибка определения  $\epsilon_V$  для всех указанных в таблице значений находилась в диапазоне от 10 до 20%.

« №9 (-80) > №10 (-78) > №8 (-76) >> №3 (-72) > №5 (-70) > №1 (-68) > №6 (-66) > №4 (-64) > №2 (-61) > №7 (-58) » (для 1 об.% ЭфМ);

« №9 (-55) > №10 (-53) > №8 (-50) > №5 (-48) > №3 (-46) >>> №1 (-39) > №4 (-37) ≈ №6 (-37) > №2 (-36) >>> №7 (-30) » (для 0,5 об.% ЭфМ);

« №9 (-36) ≈ №10 (-36) > №8 (-35) >> №5 (-32) > №3 (-31) > №1 (-29) > №4 (-28) >> №2 (-25) ≈ №6 (-25) >> №7 (-22) » (для 0,3 об.% ЭфМ);

« №9 (-23) > №5 (-22) ≈ №8 (-22) ≈ №10 (-22) > №3 (-20) > №1 (-19) ≈ №4 (-19) > №2 (-18) ≈ №6 (-18) > №7 (-16) » (для 0,1 об.% ЭфМ).

Отсюда видно, что среди исследованных ЭфМ наиболее активные пролонгированные антимикробные свойства в отношении ТМ (количественно характеризующиеся в табл.1 величиной  $\epsilon_{V,6}$ ) проявили ЭфМ, полученные из листьев туи западной (№ 9), эвкалипта шаровидного (№ 10) и кипариса

вечнозелёного (№ 8). Начальная (краткосрочная) антимикробная активность ЭфМ (количественно характеризуемая в таблице величиной  $\epsilon_{V,2}$ , определяемой через 2 ч инкубации ТМ в присутствии ТО) в большинстве случаев была достоверно больше их пролонгированной биологической активности. В то время как среднесрочная (количественно характеризуемая в табл.1 величиной  $\epsilon_{V,4}$ , определяемой через 4 ч инкубации ТМ в присутствии ТО) антимикробная активность ЭфМ (количественно характеризуемая в таблице величиной  $\epsilon_{V,4}$ , определяемой через 4 ч инкубации ТМ в присутствии ТО) в большинстве случаев была промежуточной по величине между  $\epsilon_{V,2}$  и  $\epsilon_{V,6}$  тех же ЭфМ и лишь иногда (как например в случае ЭфМ № 7 в концентрациях ниже 0,5 об.%, а также ЭфМ № 2 и № 8 в концентрациях 0,1 об.%) превышала как  $\epsilon_{V,2}$ , так и  $\epsilon_{V,6}$  тех же ЭфМ.

**Заключение**

Таким образом, мы убедились что с помощью представленной в настоящей работе методики биотестирования можно значительно более экспрессно (в течение нескольких часов, а не суток), объективно (за счёт уменьшения роли субъективного человеческого фактора при замене в процессе измерений визуальных методов на инструментальные) и информативно, чем при использовании стандартных микробиологических методов, оценивать влияние на динамику жизненной активности ТМ различных образцов пищевой, кормовой, фармацевтической, косметической и иной продукции (в том числе включающей различные растительные экстракты), а также исходную микробиологическую контаминированность ТО (причем, при необходимости, не только общую, но и применительно к отдельным видам и штаммам микроорганизмов). При этом большая информативность представленной методики достигается за счёт того, что, во-первых, инструментальные способы измерения чувствительней визуальных (применяемых в стандартных микробиологических методах). Во-вторых, представленная методика даёт возможность оценивать динамику изменения жизненной активности ТМ на множестве произвольно выбираемых временных отрезков (в отличие от стандартных процедур, где измерения производятся лишь один раз, в конце периода инкубации

ТО). В-третьих, представленная методика предполагает оценку изменения жизненной активности ТМ сразу по нескольким независимым показателям (таким как рН, редокс-потенциал и электропроводность ТС), а не только по одному (мутности ТС, числу колоний ТМ или величине зоны задержки их роста), как в случае применения стандартных микробиологических методик. Кроме того, представленная здесь методика существенно менее материалоемка и трудоёмка по сравнению с аналогичными стандартными микробиологическими методами, а также даёт гораздо больше возможностей для автоматизации процесса анализа.

Всё это делает представленную методику существенно более доступной для массового применения, чем ранее используемые стан-

дартные методы микробиологического тестирования образцов различной продукции. Последнее же является весьма актуальным в свете того, что одним из важных условий обеспечения должного уровня безопасности и качества жизни людей является не только своевременное и качественное тестирование про- и антибиотических свойств новой фармацевтической, косметической, пищевой, кормовой и иной продукции, а также отдельных ингредиентов и добавок к ней, но и постоянный широкий мониторинг про- и антибиотических свойств уже допущенной к массовому употреблению продукции с целью выявления недоброкачественных, либо успевших до окончательной реализации испортиться или претерпеть химическое или биологическое заражение её образцов.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Sutherland J., Miles M., Hedderley D., Li J., Devoy S., Sutton K., Lauren D. Invitro effects of food extracts on selected probiotic and pathogenic bacteria. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 2009; 60(8): 717–27. <https://doi.org/10.3109/09637480802165650>
- Das S., Anjeza C., Mandal S. Synergistic or additive antimicrobial activities of *Indian spice* and herbal extracts against pathogenic, probiotic and food-spoiler microorganisms. *International Food Research Journal*. 2012; 19(3): 1185–91.
- Al-Zubairi A., Al-Mamary M.A., Al-Ghasani E. The antibacterial, antifungal, and antioxidant activities of essential oil from different aromatic plants. *Global Advanced Research Journal of Medicine and Medical Sciences*. 2017; 6(9): 224–33. <https://garj.org/garjmms>
- Rodino S., Butu M. Functional and Medicinal Beverages. Volume 11: The Science of Beverages. *Academic Press*. 2019: 73–108. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816397-9.00003-0>
- Bakkali F., Averbeck S., Averbeck D., Idaomar M. Biological effects of essential oils – a review. *Food and chemical toxicology*. 2008; 46(2): 446–75. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>
- Sutherland J., Miles M., Hedderley D., Li J., Devoy S., Sutton K., Lauren D. Invitro effects of food extracts on selected probiotic and pathogenic bacteria. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 2009; 60(8): 717–727. <https://doi.org/10.3109/09637480802165650>
- Donsi F., Ferrari G. Essential oil nanoemulsions as antimicrobial agents in food. *Journal of Biotechnology*. 2016; 233: 106–20. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2016.07.005>
- Ju J., Xie Y., Guo Y., Cheng Y., Qian H., Yao W. Application of edible coating with essential oil in food preservation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2019; 59(15): 2467–80. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1456402>
- Sibirtsev V.S. Study of applicability of the bifunctional system "Ethidium bromide + Hoechst-33258" for DNA analysis. *Biochemistry (Moscow)*. 2005; 70(4): 449–57. <https://doi.org/10.1007/s10541-005-0136-x>
- Sibirtsev V.S. Fluorescent DNA probes: study of mechanisms of changes in spectral properties and features of practical application. *Biochemistry (Moscow)*. 2007; 72(8): 887–900.
- Sibirtsev V.S., Naumov I.A., Kuprina E.E., Olekhovich R.O. Use of impedance biotesting to assess the actions of pharmaceutical compounds on the growth of microorganisms. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2016; 50(7): 481–5. <https://doi.org/10.1007/s11094-016-1473-3>
- Sibirtsev V.S. Biological test methods based on fluorometric genome analysis. *Journal of Optical Technology*. 2017; 84(11): 787–91. <https://doi.org/10.1364/JOT.84.000787>
- Sibirtsev V.S., Maslova A.Yu. Complex research of *E.coli* vital activity dynamics in presence of transition metal ions. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2019; 19(2): 236–41. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2019-19-2-236-241>
- Sibirtsev V.S., Uspenskaya M.V., Garabadiju A.V., Shvets V.I. An integrated method of instrumental microbiotesting of environmental safety of various products, wastes, and territories. *Reports of Biological Sciences*. 2019; 485(1): 59–61. <https://doi.org/10.1134/S001249661902011X>
- Sibirtsev V.S., Garabadiju A.V., Shvets V.I. New technique for integrated photo-fluorescence microbiotesting. *Reports of Biological Sciences*. 2019; 489(6): 196–9. <https://doi.org/10.1134/S0012496619060103>
- Korn G., Korn T. *Mathematical Handbook for Scientists and Engineers. Definitions, Theorems and Formulas for Reference and Review*. McGraw\_Hill Book Company. 1968.
- Johnson K., Jeffi V. *Numerical Methods in Chemistry*. Cambridge University Press, New York. 1983.
- Sibirtsev V.S. Analysis of benzo[a]pyrene deactivation mechanisms in rats. *Biochemistry (Moscow)*. 2006; 71(1): 90–8. <https://doi.org/10.1134/S0006297906010147>

## ОБ АВТОРАХ:

**Сибирцев Владимир Станиславович (Sibirtsev Vladimir Stanislavovich)**, кандидат химических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет, г. Санкт-Петербург. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0829-5213>. E-mail: [vs1969@mail.ru](mailto:vs1969@mail.ru)

**Нечипоренко Ульяна Юрьевна (Nechiporenko Ulyana Yuryevna)**, младший научный сотрудник, Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет, г. Санкт-Петербург. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4102-1129>. E-mail: [unechiporenko@yandex.ru](mailto:unechiporenko@yandex.ru)

**Кабанов Владимир Леонидович (Kabanov Vladimir Leonidovich)**, младший научный сотрудник, Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет, г. Санкт-Петербург. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9085-2984>. E-mail: [kabanof\\_v@yahoo.com](mailto:kabanof_v@yahoo.com)

**Кукун Михаил Юрьевич (Kukin Mikhail Yuryevich)**, кандидат технических наук, научный сотрудник, НИИ хлебопекарной промышленности, г. Санкт-Петербург. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1722-4644>. E-mail: [mk-1980\\_2@mail.ru](mailto:mk-1980_2@mail.ru)

**Иванова Марина Константиновна (Ivanova Marina Konstantinovna)**, доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры гигиены, г. Ижевск. E-mail: [sokol0872@rambler.ru](mailto:sokol0872@rambler.ru)

**Бакшаева Анна Николаевна (Bakshaeva Anna Nikolaevna)**, ассистент кафедры гигиены ФГБОУ ВО «Ижевская государственная медицинская академия» Минздрава России, врач Центра ЭКО и репродукции БУЗ УР «Первая республиканская клиническая больница Министерства здравоохранения Удмуртской Республики», г. Ижевск. E-mail: [bakshaevaanna@yandex.ru](mailto:bakshaevaanna@yandex.ru)

**Кузнецова Елена Петровна (Kuznetsova Elena Petrovna)**, доктор медицинских наук, доцент, заведующая Центром ЭКО и репродукции БУЗ УР «Первая республиканская клиническая больница Министерства здравоохранения Удмуртской Республики», г. Ижевск. E-mail: [doctorfamily@mail.ru](mailto:doctorfamily@mail.ru)

**Осипова Елена Валерьевна (Osipova Elena Valer'evna)**, кандидат медицинских наук, заведующая Медико-генетической консультацией БУЗ УР «Первая республиканская клиническая больница Министерства здравоохранения Удмуртской Республики», г. Ижевск. E-mail: [zavtmgk@rkb1.udm.ru](mailto:zavtmgk@rkb1.udm.ru)

**Михайлова Елена Витальевна (Mikhajlova Elena Vital'evna)**, врач клинико-лабораторной диагностики БУЗ УР «Республиканский клинический онкологический диспансер имени Сергея Григорьевича Примушко Министерства здравоохранения Удмуртской Республики», г. Ижевск. E-mail: [lepor777@mail.ru](mailto:lepor777@mail.ru)

**Костромитина Екатерина Валерьевна (Kostromitina Ekaterina Valer'evna)**, эмбриолог Центра ЭКО и репродукции БУЗ УР «Первая республиканская клиническая больница Министерства здравоохранения Удмуртской Республики», г. Ижевск. E-mail: [katyshak@mail.ru](mailto:katyshak@mail.ru)