

## Исследование коррозионного взаимодействия между белой консервной жестью и модельными средами, имитирующими томатопродукты

Ольга В. Бессараб	<sup>1</sup>	<a href="mailto:upakovka@vniitek.ru">upakovka@vniitek.ru</a>	 0000-0001-7485-0698
Татьяна Ф. Платонова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:platokora@ya.ru">platokora@ya.ru</a>	 0000-0001-6395-0749
Ирина В. Протункевич	<sup>1</sup>	<a href="mailto:irina.protunkevitch@ya.ru">irina.protunkevitch@ya.ru</a>	 0000-0001-8567-9320

<sup>1</sup> ВНИИТеК – филиал «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН; Школьная ул., 78, г. Видное, Ленинский р-н, Московская обл., 142703, Россия

**Аннотация.** При выборе металлической упаковки для консервов из томатов и в томатной заливке целесообразно учитывать их коррозионную агрессивность, т.к. коррозия внутренней поверхности является одним из факторов, оказывающих влияние на качество продукции в процессе хранения. Для рационализации коррозионных испытаний металлической упаковки и материалов целесообразным является использование модельных сред вместо пищевых продуктов. При этом следует учитывать, что ввиду наличия в составе продуктов веществ, оказывающих влияние на скорость коррозии, коррозионная агрессивность модельной среды и продукта может различаться. Исследовали кинетику коррозии белой консервной жести (ЭЖК) в томатном соке и водном растворе, содержащем щавелевую и лимонную кислоты. Состав модельной среды (0,4% лимонной кислоты + 0,3% щавелевой кислоты) был выбран на основании результатов предыдущих исследований. Скорость равномерной коррозии ЭЖК измеряли методом поляризационного сопротивления, скорость питтинговой коррозии – амперометрией нулевого сопротивления. Измерения проводили при помощи коррозиметра «Эксперт-004» в автоматическом режиме. Масса оловянного покрытия на контактной поверхности ЭЖК – 5,5–5,7 г/м<sup>2</sup>. По результатам проведенных исследований было установлено, что кинетика скорости равномерной и питтинговой коррозии ЭЖК при взаимодействии с томатным соком аналогична кинетике процесса при взаимодействии с модельной средой. Как для модельной среды, так и для томатного сока коррозионный процесс имеет равномерный характер – средние стационарные значения скоростей питтинга в 7,5–7,6 раз ниже, чем соответствующие значения для равномерной коррозии (для модельной среды – 2,73 и 20,46 мкм/год; для томатного сока – 1,12 и 8,54 мкм/год). При этом коррозионная агрессивность по отношению к ЭЖК для томатного сока в 2,4 раза меньше, чем для модельной среды. Таким образом, двухкомпонентную модельную среду, содержащую 0,4 % лимонной и 0,3 % щавелевой кислоты, целесообразно использовать для коррозионных испытаний металлической упаковки и материалов с учётом поправочного коэффициента.

**Ключевые слова:** белая консервная жесть, скорость коррозии, равномерная коррозия, питтинговая коррозия, метод поляризационного сопротивления, амперометрия нулевого сопротивления, модельная среда, щавелевая кислота, лимонная кислота, томатный сок

## Investigation of corrosion interaction between white tin cans and model media simulating tomato products

Olga V. Bessarab	<sup>1</sup>	<a href="mailto:upakovka@vniitek.ru">upakovka@vniitek.ru</a>	 0000-0001-7485-0698
Tatyana F. Platonova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:platokora@ya.ru">platokora@ya.ru</a>	 0000-0001-6395-0749
Irina V. Protunkevitch	<sup>1</sup>	<a href="mailto:irina.protunkevitch@ya.ru">irina.protunkevitch@ya.ru</a>	 0000-0001-8567-9320

<sup>1</sup> Russian Research Institute of Canning Technology – Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS, Shkolnaya st., 78, Vidnoe place, Leninskiy district, Moscow region, 142703 Russia

**Abstract.** When choosing metal packaging for canned tomatoes and in tomato pouring, it is advisable to take into account their corrosiveness, since corrosion of the inner surface is one of the factors affecting the quality of products during storage. To rationalize corrosion testing of metal packaging and materials, it is advisable to use model media instead of food products. It should be borne in mind that, due to the presence in the composition of products of substances that affect the corrosion rate, the corrosiveness of the model environment and the product may vary. The corrosion kinetics of canned tinplate (ELC) in tomato juice and in an aqueous solution containing oxalic and citric acid was studied. The composition of the model medium (0.4% citric acid + 0.3% oxalic acid) was selected based on the results of previous studies. The uniform corrosion rate of ELC was measured by the polarization resistance method, the pitting corrosion rate was measured by zero resistance amperometry. The measurements were carried out using an Expert-004 corrosion meter in automatic mode. The mass of the tin coating on the contact surface of the ELC is 5.5–5.7 g/m<sup>2</sup>. According to the results of the studies, it was found that the kinetics of the rate of uniform and pitting corrosion of the ELC when interacting with tomato juice is similar to the kinetics of the process when interacting with a model medium. For both the model environment and tomato juice, the corrosion process is uniform - the average stationary pitting rates are 7.5–7.6 times lower than the corresponding values for uniform corrosion (for the model environment – 2.73 and 20.46 μm/year; for tomato juice - 1.12 and 8.54 μm/year). At the same time, the corrosiveness with respect to ELC for tomato juice is 2.4 times less than for a model medium. Thus, it is advisable to use a two-component model medium containing 0.4% citric and 0.3% oxalic acid for corrosion testing of metal packaging and materials, taking into account the correction factor.

**Keywords:** tinplate, corrosion rate, uniform corrosion, pitting corrosion, polarization resistance method, zero-resistance amperometry, model media, oxalic acid, citric acid, tomato juice

Для цитирования

Бессараб О.В., Платонова Т.Ф., Протункевич И.В. Исследование коррозионного взаимодействия между белой консервной жестью и модельными средами, имитирующими томатопродукты // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 4. С. 71–76. doi:10.20914/2310-1202-2019-4-71-76

For citation

Bessarab O.V., Platonova T.F., Protunkevitch I.V. Investigation of corrosion interaction between white tin cans and model media simulating tomato products. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2019. vol. 81. no. 4. pp. 71–76. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2019-4-71-76

## Введение

Банки из белой консервной жести электролитического лужения (ЭЖК) используют для упаковки консервированных продуктов из томатов и в томатной заливке. В составе томатов содержатся лимонная, щавелевая и другие органические кислоты [1], которые являются причиной электрохимической коррозии жести. Электрохимическая коррозия жести происходит на границе раздела «металл-продукт» в результате одновременно протекающих реакций анодного окисления металла и катодного восстановления ионов электролита. Вследствие этого происходит миграция ионов металлов в продукт, и в процессе хранения происходит накопление солей олова и железа в консервах, что приводит к ухудшению их потребительских свойств [2, 3]. Таким образом, при выборе металлической упаковки следует учитывать коррозионную устойчивость материала. Для рационализации коррозионных испытаний металлической упаковки и упаковочных материалов целесообразной является замена пищевых продуктов модельными средами – водными растворами, содержащими коррозионно-активные вещества, в основном органические кислоты [4, 5]. Такой подход обеспечивает воспроизводимость результатов испытаний, т. е. модельные среды, в отличие от пищевых продуктов, имеют стабильный химический состав. При этом коррозионная агрессивность консервов и модельной среды может значительно различаться ввиду наличия в составе томатов и продуктов их переработки веществ, оказывающих влияние на скорость коррозии жести: пектиновых веществ, пигментов, сахаров [6–8]. Таким образом, с целью корректной интерпретации результатов коррозионных испытаний представляет интерес установление корреляции между коррозионным поведением белой консервной жести в модельных средах и томатопродуктах.

Цель работы – исследование кинетики коррозии белой консервной жести (ЭЖК) в томатном соке и водном растворе, содержащем щавелевую и лимонную кислоту. По результатам ранее проведённых исследований нами было установлено, что в качестве модельной коррозионной среды, имитирующей овощные консервы, целесообразно использовать двухкомпонентный водный раствор, содержащий 0,4% лимонной и 0,3% щавелевой кислоты [9, 10].

## Материалы и методы

В настоящей работе в качестве модельных коррозионных сред использовали:

- томатный сок, полученный путём смешивания томатной пасты с водой в соотношении 1:4 по массе (массовая доля сухих веществ в томатной пасте – 25–28%);

- водный раствор, содержащий 0,4% лимонной кислоты и 0,3% щавелевой кислоты (далее – модельная среда).

Определение поправочного коэффициента для оценки коррозионной агрессивности консервированных продуктов проводили по разработанной нами схеме эксперимента, включающей в себя:

- 1) получение кривых скоростей равномерной и питтинговой коррозии при взаимодействии ЭЖК с двухкомпонентной модельной средой, содержащей 0,4% лимонной кислоты и 0,3% щавелевой кислоты;

- 2) получение кривых скоростей равномерной и питтинговой коррозии при взаимодействии ЭЖК с томатной пастой, смешанной с водой;

- 3) расчёт средних стационарных значений скоростей коррозии;

- 4) расчёт поправочного коэффициента.

Скорость равномерной коррозии ( $K$ ) определяли методом поляризационного сопротивления по двухэлектродной схеме. Сущность метода заключается в создании постоянной разности потенциалов (внешней поляризации) между двумя одинаковыми пластинами металла, служащими электродами, и измерении параметров возникающего при этом тока. Скорость питтинговой (точечной) коррозии ( $P$ ) определяли посредством амперометрии нулевого сопротивления по двухэлектродной схеме. Метод основан на измерении плотности тока, протекающего между одинаковыми пластинами металла (электродами) при отсутствии внешней поляризации, т. е. в условиях самопроизвольного процесса [11–13].

Исследования проводили в соответствии с методикой, разработанной во ВНИИТеК, с использованием микропроцессорного универсального коррозиметра «Эксперт-004», обеспечивающего одновременное автоматическое измерение скоростей равномерной и питтинговой коррозии при величине поляризующего импульса 10 мВ. Продолжительность одного исследования составила 160–168 ч; запись значений скорости коррозии проводили в автоматическом режиме с интервалом 4 ч. Коррозионная ячейка состоит из стеклянной основы, двух одинаковых пластин металла (электродов), двух уплотнительных прокладок из полимерного материала (пластизоль) и фиксирующего устройства. Основа изготовлена из термостойкого стекла и представляет собой открытый с двух сторон цилиндр с горловиной для заполнения. Фиксирующее устройство представляет собой две прямоугольные пластины из пластика, соединённые двумя винтами. Electrodes представляют собой пластины ЭЖК размером 60×120 мм; масса оловянного покрытия на поверхности, контактирующей со средой, составляет 5,5–5,7 г/м<sup>2</sup>, что соответствует II классу покрытия по ГОСТ 13345–85 [14, 15].

По результатам измерений были построены графики, отражающие кинетику коррозионного процесса – изменение скорости равномерной и питтинговой коррозии ЭЖК с течением времени. Исходя из анализа графиков, были рассчитаны средние стационарные значения скоростей коррозии ЭЖК, характеризующие агрессивность коррозионных сред.

Среднее стационарное значение скорости равномерной коррозии  $\bar{K}_{ct}$ , мкм/год, рассчитывали по формуле

$$\bar{K}_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{n}, \quad (1)$$

где  $K_i$  – значение скорости равномерной коррозии, измеренное в стационарном режиме;  $n$  – количество измерений скорости равномерной коррозии в стационарном режиме.

Среднее стационарное значение скорости питтинговой коррозии  $\bar{P}_{ct}$ , мкм/год, рассчитывали по формуле

$$\bar{P}_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}, \quad (2)$$

где  $P_i$  – значение скорости питтинговой коррозии, измеренное в стационарном режиме, мкм/год;  $n$  – количество измерений скорости питтинговой коррозии в стационарном режиме.

Среднее квадратическое отклонение результатов измерений  $S_K$ , мкм/год, стационарной скорости равномерной коррозии рассчитывали по формуле

$$S_K = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{K}_{cm} - K_i)^2}{n-1}, \quad (3)$$

где  $\bar{K}_{cm}$  – среднее стационарное значение скорости равномерной коррозии, мкм/год;  $K_i$  – значение скорости равномерной коррозии, измеренное в стационарном режиме, мкм/год;  $n$  – количество измерений скорости равномерной коррозии в стационарном режиме.

Среднее квадратическое отклонение результатов измерений  $S_P$ , мкм/год, стационарной скорости питтинговой коррозии рассчитывали по формуле

$$S_P = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{P}_{cm} - P_i)^2}{n-1}, \quad (4)$$

где  $\bar{P}_{cm}$  – среднее стационарное значение скорости питтинговой коррозии, мкм/год;  $P_i$  – значение скорости питтинговой коррозии, измеренное в стационарном режиме, мкм/год;  $n$  – количество измерений скорости питтинговой коррозии в стационарном режиме.

Поправочный коэффициент для скорости равномерной коррозии  $R_K$  рассчитывали по формуле

$$R_K = \frac{\bar{K}_{cm}^{mc}}{\bar{K}_{cm}^{np}}, \quad (5)$$

где  $\bar{K}_{cm}^{mc}$  – среднее значение стационарной скорости равномерной коррозии для модельной среды;  $\bar{K}_{cm}^{np}$  – среднее значение стационарной скорости равномерной коррозии для продукта.

Поправочный коэффициент для скорости питтинговой коррозии  $R_P$  рассчитывали по формуле

$$R_P = \frac{\bar{P}_{cm}^{mc}}{\bar{P}_{cm}^{np}}, \quad (6)$$

где  $\bar{P}_{cm}^{mc}$  – среднее значение стационарной скорости равномерной коррозии для модельной среды;  $\bar{P}_{cm}^{np}$  – среднее значение стационарной скорости равномерной коррозии для продукта.

### Результаты и обсуждение

На рисунке 1 представлены графики, отражающие кинетику скорости равномерной и питтинговой коррозии ЭЖК при взаимодействии с модельной средой и томатным соком.

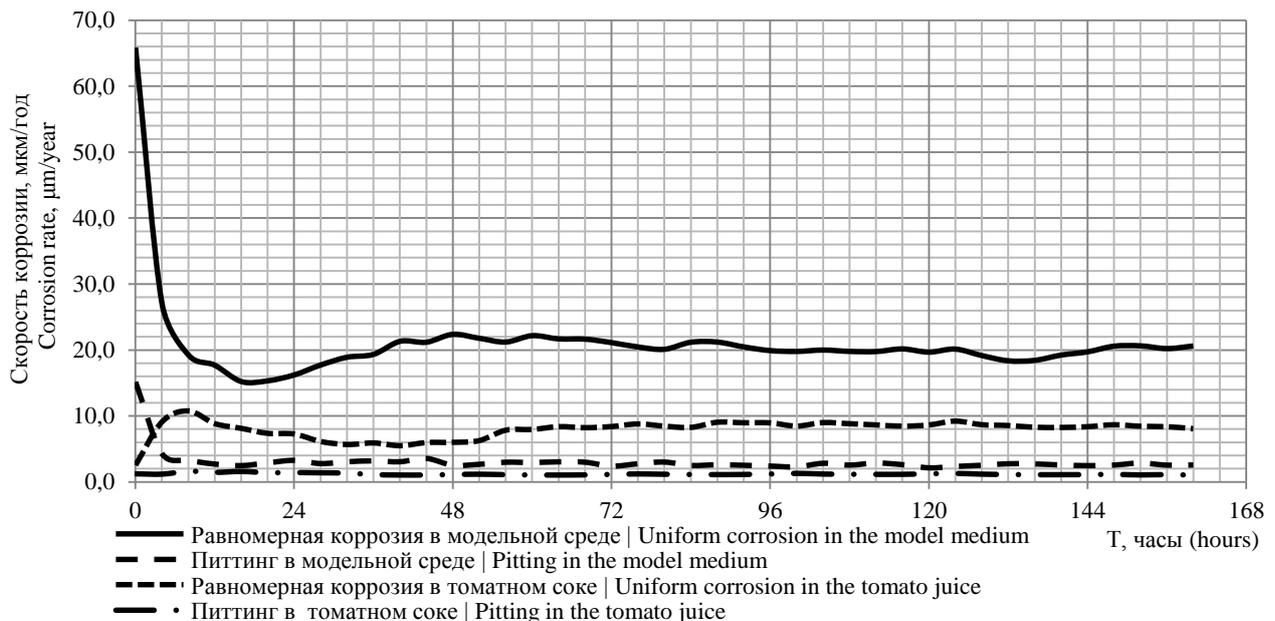


Рисунок 1. Кинетика скорости коррозии ЭЖК

Figure 1. Corrosion kinetics of tinplate

При взаимодействии ЭЖК с модельной средой коррозионный процесс имеет следующий характер. В начале исследования скорость равномерной коррозии имеет максимальное значение (65,8 мкм/год), затем происходит её снижение и через 20 ч от начала исследования достигается минимальное значение (15,2 мкм/год). В течение последующих 20 ч скорость коррозии увеличивается, и процесс переходит в стационарный режим. Скорость питтинга в начале исследования имеет максимальное значение (15,2 мкм/год), которое в течение 4 ч снижается до стационарного. Такой характер коррозионного процесса объясняется осаждением на поверхности жести труднорастворимых продуктов коррозии, преимущественно гидроксида олова, образующегося вследствие диссоциации цитратов, а также оксалата олова [16]. В течение первых 20 ч осаждение продуктов коррозии преобладает над растворением пассивационного хроматного слоя, вследствие чего наблюдается уменьшение скорости процесса. Увеличение скорости равномерной коррозии объясняется частичным растворением осадка в избытке кислоты вследствие образования комплексных ионов [17], а также увеличением площади катода из-за растворения олова и обнажения участков стальной основы [18].

Переход коррозионного процесса в стационарный режим происходит при достижении равновесия между осаждением и растворением продуктов коррозии.

При взаимодействии ЭЖК с томатным соком в течение 8 ч от начала исследования скорость равномерной коррозии увеличивается от 2,5 до 10,8 мкм/год, затем в течение последующих 32 ч снижается до минимального значения (5,5 мкм/год), затем в течение следующих 16 ч скорость коррозии увеличивается, и процесс переходит в стационарный режим. Скорость питтинга в течение 8–16 ч от начала исследования увеличивается с 1,2 до 1,6 мкм/год, а затем в течение последующих 20 ч снижается до стационарного значения. Увеличение скорости равномерной и питтинговой коррозии в начальном периоде, вероятно, связано с преобладанием растворения хроматного слоя над осаждением продуктов коррозии. После растворения хроматного слоя скорость коррозии снижается вследствие осаждения на поверхность жести оксалата и гидроксида олова.

В таблице 1 представлены параметры процесса коррозии ЭЖК при взаимодействии с модельной средой и томатным соком, рассчитанные по формулам (1)–(6).

Таблица 1.

## Параметры процесса коррозии

Table 1.

## Corrosion process parameters

Коррозионная среда Corrosion medium	Вид коррозии   Corrosion type				$\bar{K}_{ct} / \bar{P}_{ct}$
	Равномерная   Uniform		Питтинговая   Pitting		
	$\bar{K}_{ct} \pm S_K$ , мкм/год   $\mu\text{m/year}$	n	$\bar{P}_{ct} \pm S_P$ , мкм/год   $\mu\text{m/year}$	n	
Модельная среда   Model medium	20,46±1,00	31	2,73±0,31	39	7,49
Томатный сок   Tomato juice	8,54±0,34	27	1,12±0,07	32	7,62
Поправочный коэффициент Correction coefficient	2,40	–	2,44	–	–

Как для модельной среды, так и для томатной пасты, процесс имеет равномерный характер – среднее стационарное значение скорости равномерной коррозии в 7,5–7,6 раз больше среднего стационарного значения скорости питтинга (таблица 1).

Из данных таблицы 1 видно, что томатный сок менее агрессивен по отношению к ЭЖК, чем модельная среда, содержащая 0,4% лимонной и 0,3% щавелевой кислоты. Это объясняется ингибирующим действием пектина [19], содержащегося в продуктах переработки томатов.

На основании анализа результатов исследований можно сделать вывод, что кинетика коррозионного процесса при взаимодействии ЭЖК с томатным соком в целом аналогична кинетике процесса при взаимодействии с модельной средой.

## Заключение

1. Кинетика равномерной и питтинговой коррозии ЭЖК при взаимодействии с томатным соком аналогична кинетике процесса при взаимодействии с двухкомпонентной модельной средой, содержащей 0,4% лимонной и 0,3% щавелевой кислоты.

2. Для томатного сока и двухкомпонентной модельной среды, содержащей 0,4% лимонной и 0,3% щавелевой кислоты, коррозионный процесс имеет равномерный характер.

3. Для оценки металлической упаковки и материалов, предназначенных для фасования томатных и томатсодержащих консервов, целесообразно использовать двухкомпонентную модельную среду, содержащую 0,4% лимонной и 0,3% щавелевой кислоты, с учётом поправочного коэффициента 2,4.

## Литература

- 1 Salunkhe D.K., Jadhav S.J., Yu M.H. Quality and Nutritional Composition of Tomato Fruit as Influenced by Certain Biochemical and Physiological Changes // *Plant Foods for Human Nutrition*. 1974. V. 24. № 1–2. P. 85–113. doi: 10.1007/BF01092727
- 2 Чавчанидзе А.Ш. Защита металлических тарных материалов от коррозии // *Пищевая промышленность*, 2010. № 6. С. 20–21.
- 3 Abdel-Rahman N.A.-G. Tin-plate Corrosion in Canned Foods // *Journal of Global Biosciences*. 2015. V. 4. № 7. P. 2966–2971.
- 4 Шавырин В.А., Товстокопа Н.С., Чавчанидзе А.Ш., Тимофеева Н.Ю. и др. Соответствие между десятибалльной шкалой коррозионной стойкости металлических тарных материалов и классификацией консервов по степени коррозионной агрессивности // *Практика противокоррозионной защиты*. 2011. № 1. С. 56–60.
- 5 Allman A., Jewell E., de Vooy A., Hayes R. et al. Food packaging simulant failure mechanisms in next generation steel packaging // *Packaging Technology and Science*. 2019. V. 32. № 9. P. 441–455. doi: 10.1002/pts.2448
- 6 Robertson G.L. *Food Packaging: Principles and Practice*, Third Edition. CRC Press, 2012. 773 p.
- 7 Haruna K., Obot I.B., Anka N.K., Sorour A.A. et al. Gelatin: A green corrosion inhibitor for carbon steel in oil well acidizing environment // *Journal of Molecular Liquids*. 2018. V. 264. P. 515–525. doi: 10.1016/j.molliq.2018.05.058
- 8 Zumelzu E., Cabezas C., Leufuman A., Llanos M. et al. Effect of sugar food products on the integrity of tinplate containers // *Acta Alimentaria*. 2000. V. 29. № 4. P. 367–375. doi: 10.1556/AAlim.29.2000.4.7
- 9 Бессараб О.В., Платонова Т.Ф., Протункевич И.В. Коррозионная агрессивность растворов щавелевой кислоты, имитирующих овощные консервы // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: пищевые и биотехнологии*. 2018. Т. 6. № 4. С. 67–73. doi: 10.14529/food180409
- 10 Бессараб О.В., Платонова Т.Ф., Протункевич И.В. Моделирование коррозионного процесса при взаимодействии белой жести с овощными консервами // *Вестник ВГУИТ*. 2019. Т. 81. № 1 (79). С. 149–159. doi: 10.20914/2310-1202-2019-1-149-159
- 11 Ануфриев Н.Г. Применение методов поляризационного сопротивления и амперометрии нулевого сопротивления для изучения коррозионного поведения металлов в водных средах // *Практика противокоррозионной защиты*. 2003. № 4 (30). С. 10–13.
- 12 Чавчанидзе А.Ш., Ракоч А.Г., Тимофеева Н.Ю., Базаркин А.Ю. Электрохимические исследования коррозионной стойкости металлических материалов в пищевых средах // *Коррозия: материалы и защита*. 2008. № 12. С. 10–16.
- 13 Ануфриев Н.Г. Новые возможности применения метода линейного поляризационного сопротивления в коррозионных исследованиях и на практике // *Коррозия: материалы, защита*. 2012. № 1. С. 36–43.
- 14 Andryushchenko E.A., Kotlov Y.G., Polyakov S.G., Robsman G.I. et al. Evaluation of the corrosion aggressiveness of pre-serving media by the polarization resistance method // *Protection Of Metals*. 1988. V. 23. № 5. P. 636–638.
- 15 Шавырин В.А., Чавчанидзе А.Ш., Тимофеева Н.Ю. Экспресс-метод коррозионных испытаний консервных банок // *Продукты длительного хранения*. 2009. № 3. С. 12–14.
- 16 Шейхет Ф.И. *Материаловедение химикатов, красителей и моющих средств*. Москва: Легкая индустрия, 1969. 324 с.
- 17 Характерные и специфические реакции катионов олова. URL: <https://medlec.org/lek2-50007.html>
- 18 Che Y., Han Z., Luo B., Xia D. et al. Corrosion Mechanism Differences of Tinplate in Aerated and Deaerated Citric Acid Solution // *International Journal of Electrochemical Science*. 2012. V. 7. P. 9997–10007.
- 19 Umoren S.A., Obot I.B., Madhankumar A., Gasem Z.M. Performance evaluation of pectin as ecofriendly corrosion inhibitor for X60 pipeline steel in acid medium: Experimental and theoretical approaches // *Carbohydrate Polymers*. 2015. V. 124. P. 280–291. doi: 10.1016/j.carbpol.2015.02.036

## References

- 1 Salunkhe D.K., Jadhav S.J., Yu M.H. Quality and Nutritional Composition of Tomato Fruit as Influenced by Certain Biochemical and Physiological Changes. *Plant Foods for Human Nutrition*. 1974. vol. 24. no. 1–2. pp. 85–113. doi: 10.1007/BF01092727
- 2 Chavchanidze A.Sh. Protection of metal tare materials from corrosion. *Food industry*. 2010. no. 6. pp. 20–21 (in Russian).
- 3 Abdel-Rahman N.A.-G. Tin-plate Corrosion in Canned Foods. *Journal of Global Biosciences*. 2015. vol. 4. no. 7. pp. 2966–2971.
- 4 Shavyrin V.A., Tovstokora N.S., Chavchanidze A.Sh., Timofeeva N.Ju. et al. Correlation between a scale of one to ten for corrosion resistance metallic packing materials and classification of canned food ranking in terms of its corrosion activity. *Praktika protivokorroziionnoj zashhity*. 2011. no. 1. pp. 56–60. (in Russian).
- 5 Allman A., Jewell E., de Vooy A., Hayes R. et al. Food packaging simulant failure mechanisms in next generation steel packaging. *Packaging Technology and Science*. 2019. vol. 32. no. 9. pp. 441–455. doi: 10.1002/pts.2448
- 6 Robertson G.L. *Food Packaging: Principles and Practice*, Third Edition. CRC Press, 2012. 773 p.
- 7 Haruna K., Obot I.B., Anka N.K., Sorour A.A. et al. Gelatin: A green corrosion inhibitor for carbon steel in oil well acidizing environment. *Journal of Molecular Liquids*. 2018. vol. 264. pp. 515–525. doi: 10.1016/j.molliq.2018.05.058
- 8 Zumelzu E., Cabezas C., Leufuman A., Llanos M. et al. Effect of sugar food products on the integrity of tinplate containers. *Acta Alimentaria*. 2000. vol. 29. no. 4. pp. 367–375. doi: 10.1556/AAlim.29.2000.4.7
- 9 Bessarab O.V., Platonova T.F., Protunkevich I.V. Corrosion aggressiveness of oxalic acid solutions simulating canned vegetables. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*. 2018. vol. 6. no. 4. pp. 67–73. doi: 10.14529/food180409 (in Russian).
- 10 Bessarab O.V., Platonova T.F., Protunkevich I.V. Modeling of the corrosion process in the interaction of tinplate with vegetable canned food. *Proceedings of VSUET*. 2019. vol. 81. no. 1 (79). pp. 149–159. doi: 10.20914/2310-1202-2019-1-149-159 (in Russian).

- 11 Anufriev N.G. Application of polarization resistance and zero-resistance amperometry methods for investigation of corrosion metal conduct in water media. The practice of corrosion protection. 2003. no. 4 (30). pp. 10–13. (in Russian).
- 12 Chavchanidze A.Sh., Rakoch A.G., Timofeeva N.Ju., Bazarkin A.Ju. Electrochemical studies of the metal materials corrosion resistance in food. Corrosion: materials and protection. 2008. no. 12. pp. 10–16. (in Russian).
- 13 Anufriev N.G. New opportunities for application of the linear polarization resistance method in corrosion researches and in practice. Corrosion: materials and protection, 2012. no. 1. pp. 36–43. (in Russian).
- 14 Andryushchenko E.A., Kotlov Y.G., Polyakov S.G., Robsman G.I. et al. Evaluation of the corrosion aggressiveness of pre-serving media by the polarization resistance method. Protection Of Metals. 1988. vol. 23. no. 5. pp. 636–638.
- 15 Shavyrin V.A. Bazarkin A.Ju., Chavchanidze A.Sh., Timofeeva N.Ju. Express method of cans corrosion testing. Produkty dlitel'nogo hranenija. 2009. no. 3. pp. 12–14. (in Russian).
- 16 Shejhet F.I. Materials Science for Chemicals, Dyes, and Detergents. Moscow, Legkaja industrija, 1969. 324 p. (in Russian).
- 17 Characteristic and specific reactions of tin cations. Available at: <https://medlec.org/lek2-50007.html> (in Russian).
- 18 Che Y., Han Z., Luo B., Xia D. et al. Corrosion Mechanism Differences of Tinplate in Aerated and Deaerated Citric Acid Solution. International Journal of Electrochemical Science. 2012. vol. 7. pp. 9997–10007.
- 19 Umoren S.A., Obot I.B., Madhankumar A., Gasem Z.M. Performance evaluation of pectin as ecofriendly corrosion inhibitor for X60 pipeline steel in acid medium: Experimental and theoretical approaches. Carbohydrate Polymers. 2015. vol. 124. pp. 280–291. doi: 10.1016/j.carbpol.2015.02.036

**Сведения об авторах**

**Ольга В. Бессараб** зав. отделом, ст. научный сотрудник, отдел тары и упаковки, ВНИИТеК– филиал «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, Школьная ул., д. 78, г. Видное, Ленинский р-н, Московская обл., 142703, Россия, upakovka@vniitek.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7485-0698>

**Татьяна Ф. Платонова** к.т.н., ведущий научный сотрудник, отдел тары и упаковки, ВНИИТеК– филиал «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, Школьная ул., д. 78, г. Видное, Ленинский р-н, Московская обл., 142703, Россия, platokora@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6395-0749>

**Ирина В. Протункевич** инженер-исследователь, отдел тары и упаковки, ВНИИТеК– филиал «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, Школьная ул., д. 78, г. Видное, Ленинский р-н, Московская обл., 142703, Россия, irina.protunkevitch@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8567-9320>

**Вклад авторов**

**Ольга В. Бессараб** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, выполнила расчёты, написала рукопись и несёт ответственность за плагиат

**Татьяна Ф. Платонова** консультация в ходе исследования, провела эксперимент

**Ирина В. Протункевич** провела эксперимент

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Information about authors**

**Olga V. Bessarab** head of laboratory, senior researcher, packaging laboratory, Russian Research Institute of Canning Technology – Branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, Shkolnaya st., 78, Vidnoe place, Leninskiy district, Moscow region, 142703 Russia, upakovka@vniitek.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7485-0698>

**Tatyana F. Platonova** Cand. Sci. (Engin.), leader researcher, packaging laboratory, Russian Research Institute of Canning Technology – Branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, Shkolnaya st., 78, Vidnoe place, Leninskiy district, Moscow region, 142703 Russia, platokora@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6395-0749>

**Irina V. Protunkevitch** researcher engineer, packaging laboratory, Russian Research Institute of Canning Technology – Branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, Shkolnaya st., 78, Vidnoe place, Leninskiy district, Moscow region, 142703 Russia, irina.protunkevitch@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8567-9320>

**Contribution**

**Olga V. Bessarab** review of the literature on an investigated problem, performed computations, wrote the manuscript and is responsible for plagiarism

**Tatyana F. Platonova** consultation during the study, conducted an experiment

**Irina V. Protunkevitch** conducted an experiment

**Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

---

Поступила 14/11/2019

После редакции 25/11/2019

Принята в печать 04/12/2019

---

Received 14/11/2019

Accepted in revised 25/11/2019

Accepted 04/12/2019

---