Тип статьи: научная
УДК 620.193
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-3-131-142

ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ПРОДУКТЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ

Лариса Геннадьевна Князева [1], Николай Алексеевич Курьято [2], Андрей Валерьевич Дорохов [3], Виктория Александровна Брыксина [4]
[1,2,3]Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия
[4]Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державин, г. Тамбов, Россия
[1]Knyazeva27@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3232-2210
[3]cska-sparta@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-1319-7370
[2]dorokhov.andryusha@mail.ru https://orcid.org/0000-0003-1778-457X
[4]bryksina_98@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1264-1310

Автор ответственный за переписку: Князева Лариса Геннадьевна, Knyazeva27@mail.ru
Corresponding author: Larisa Knyazeva, Knyazeva27@mail.ru

Реферат. *Для противокоррозионной защиты сельскохозяйственной техники и оборудования особенно актуально использование дешевых, экологически безопасных натуральных продуктов. Исследования проводили на образцах из углеродистой стали Ст3. Изучали покрытия из подсолнечного и рапсового масел и их отстоев; березового дегтя и его эмульсии, приготовленной с помощью гомогенизатора; отваров бифунгина, черного и зеленого чая, кофе, коры дуба, очисток картофеля и свеклы, кожуры апельсина и банана, лаврового листа, луковой шелухи, полевого меда, сахара, ягод смородины, сушеного чеснока, табака, черного и красного перца, приправы хмели-сунели, чистотела. Для оценки защитных свойств натуральных продуктов использовали гравиметрические исследования в термовлагокамере Г-4, в 0,5 М растворе растворе NaCl, в отварах натуральных продуктов. Установлено, что, рапсовое масло обеспечивает защитную эффективность, большую, чем подсолнечное на 14-15 % при испытаниях в 0,5 М растворе NaCl и на 5-9 % - в термовлагокамере Г-4. Нанесение растительных масел по влажной поверхности практически не влияет на их защитную эффективность, а нанесение по ржавой (предварительно окисленной в течении 1 месяца) приводит к существенному снижению защитной эффективности покрытий: на 33 и 42 % для подсолнечного и рапсового масел, на 23 и 40 % для их отстоев, соответственно. Отстои растительных масел полностью защищают стальную поверхность при испытаниях в солевом растворе в течение 3 месяцев, в термовлагокамере Г-4 в течение 40 суток, при натурно-стендовых испытаниях в течение года. В солевом растворе достаточно хорошо защищает стальную поверхность эмульсия из дегтя. Для эффективной защиты углеродистой стали от атмосферной коррозии на непродолжительный срок можно рекомендовать экологически безопасные отвары распространенных натуральных продуктов, такие как лавровый лист, кофе черный, кожура апельсина, сушеный чеснок, черный молотый перец.*

Ключевые слова: *коррозия, защита, экологически безопасные натуральные продукты, растительные масла, деготь, отвары, гравиметрические испытания.*

ENVIRONMENTALLY FRIENDLY PRODUCTS FOR CORROSION PROTECTION

Larisa Knyazeva [1], Nikolay Kur`yato [2], Andrey Dorokhov [3], Viktoriya Bryksina [4]
[1,2,3]All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture, Tambov, Russia
[4]Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russia
[1]Knyazeva27@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3232-2210
[3]cska-sparta@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-1319-7370

[3]dorokhov.andryusha@mail.ru https://orcid.org/0000-0003-1778-457X
[4]bryksina_98@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1264-1310

Abstract. *The use of cheap, environmentally friendly natural products is especially important for the anti-corrosion protection of agricultural machinery and equipment. The studies were carried out on samples of carbon steel St3.Coatings from sunflower and rapeseed oils and their sediments; birch tar and its emulsion prepared with a homogenizer; decoctions of bifungin, black and green tea, coffee, oak bark, potato and beet peels, orange and banana peel, bay leaf, onion peel, field honey, sugar, currant berries, dried garlic, tobacco, black and red pepper, seasonings hops-suneli, celandine were studied. Gravimetric studies in a G-4 thermal moisture chamber, in a 0.5 M NaCl solution, in decoctions of natural products were used to assess the protective properties of natural products. in 0.5 M NaCl solution and 5-9% - in thermomoisture chamber G-4. The application of vegetable oils on a wet surface practically does not affect their protective effectiveness, and application on a rusty one (preliminarily oxidized for 1 month) leads to a significant decrease in the protective effectiveness of coatings: by 33 and 42% for sunflower and rapeseed oils, by 23 and 40% for their sludge, respectively. Sediments of vegetable oils completely protect the steel surface when tested in a saline solution for 3 months, in a G-4 thermal moisture chamber for 40 days, and in full-scale bench tests for a year. The tar emulsion protects the steel surface well enough in a saline solution. Ecologically safe decoctions of common natural products, such as bay leaf, black coffee, orange peel, dried garlic, ground black pepper can be recommended for effective protection of carbon steel from atmospheric corrosion for a short period.*

Keywords: *corrosion, protection, environmentally friendly natural products, vegetable oils, tar, decoctions, gravimetric tests.*

Для цитирования: Князева Л.Г., Курьято Н.А., Дорохов А.В., Брыксина В.А. Экологически безопасные продукты для защиты от коррозии // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023. Т. 63, № 3. С. 131-142. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-131-142.

For citation: Knyazeva L., Kuryato N., Dorokhov A., Bryksina V.A. Environmentally friendly anti-corrosion products // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023; 63(3): 131-142. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-131-142.

Введение. Для защиты от коррозии в древние времена люди использовали натуральные продукты, с течением времени стали отходить от этой практики в сторону более эффективных, но не экологичных продуктов химической промышленности. Но в связи с непростой экологической обстановкой стала вновь актуальна «Зеленая химия», где для решения различных проблем используются природные компоненты.

Металлические земледельческие орудия появились в глубокой древности. Уже в первом тысячелетии до н.э. из бронзы делали прототипы плуга и серпа. С началом производства железа на орудиях стали использовать металлические наконечники. В V веке до н.э. в Греции появился примитивный плуг с железным лемехом, в XI-XIII веках появился тяжелый плуг с железным отвалом, железный топор, подковы и т.д. Лопата, мотыга, кирка, серп, коса, тяпка, кетмень, соха, цеп, вилы, грабли, примитивная жатка могли быть изготовлены сельскими кузнецами, решето, телега – сельскими кустарями. В давние времена проблему защиты металлов от коррозии решали с помощью сала или любого другого животного жира и растительных масел. Эти продукты быстро восполняемы, доступны, не токсичны и биологически легко расщепляемы [1]. Георг Агрикола в XV для борьбы с ржавчиной предлагал использовать покрытия из гипса, битума и смолы [2]. В XIII-XV вв. для защиты корпусов морских судов от обрастания и коррозии применяли деготь, иногда его смесь с маслом, смолой или каучуком [3]. Большой венецианский флот для защиты корпусов использовал деготь. Во времена походов Васко де Гама (1469-1524 гг.) португальцы покрывали внешний корпус судна смесью смолы и серы, слоем толщиной несколько дюймов.

В позднем Средневековье для защиты металлических частей доспехов и оружия занимались воронением (просмаливанием с последующим обжигом) стали [4]. Для замедления коррозионных разрушений поверхностей из углеродистой стали в сельскохозяйственной технике и оборудовании

в современности широко используют ингибиторную защиту [5-10]. Многие из известных неорганических ингибиторов коррозии (ИК) стали, таких как хроматы, нитриты, соли ртути и т. д.) обладают достаточно высокой токсичностью и даже запрещены из-за высокого загрязнения окружающей среды. Разработан целый ряд органических ИК таких, как производные жирные кислот и амидов, аминов, пиридинов, имидазолинов и других 1,3-азолов с отличными защитными свойствами, которые также достаточно токсичны и не дешевы. Поэтому актуален поиск новых экологически безопасных, доступных ингибиторов коррозии природного происхождения. Он активно ведется уже в течение нескольких последних десятилетий. В начале XX века были получены патенты на использование растительных материалов в травлении металлов, таких как крахмал, смолы и масла, измельченный жмых, животные белки (отходы мясной и молочной промышленности), пивные дрожжи и др.

В 30-х годах в качестве травильных присадок начали использовать различные вещества, содержащиеся в растениях, применяя для этого, например, высушенные стебли и листья чистотела [11], известны «травильные супы» уральских оружейников — растворы серной кислоты с отрубями [12]. Появились такие народные средства борьбы с ржавчиной, как пищевая и каустическая сода, хозяйственное мыло и сырой картофель, рыбий жир, парафин, лимонный сок [13]. Позднее даже предлагали использовать кетчуп и кока-колу.

Во второй половине XX века в промышленных масштабах для защиты металлов в качестве ингибиторов коррозии начали использовать экстракты растений. Экстракты растений считаются невероятно богатым источником синтезированных естественным путем смесей ингибиторов - химических соединений, которые можно извлечь с помощью простых и недорогих процедур. Однако, при их использовании, наряду с ожидаемыми синергетическими, могут быть и антагонистические эффекты, которые могут оказать влияние на эффективность их ингибирования. Растительные экстракты, содержащие определенные органические молекулы, можно рассматривать в качестве альтернативы традиционным ИК. Натуральные экстракты растений обычно, действуют как смешанные ингибиторы коррозии [14].

В работе [14] изучали влияние конского каштана на коррозию стали Ст3 в воде. В состав водных экстрактах входят флавоноиды, каротиноиды, углеводы (гексозы и пентозы) и продукты их поликонденсации и распада (уроновые кислоты, геммицеллюлозы, фурфурол и др.), гликозид эскулин и тритерпенсапонины (эсцин), а также дубильные вещества (таннины), азот, причем на соотношение компонентов в вытяжке влияют степень измельченности исходного продукта, температура и время экстрагирования. Предполагается, что рыхлая пленка, формирующаяся на поверхности образца к 48 часам испытаний, включает, наряду с оксидами и гидроксидами железа, комплексы Fe(II). На рост защитных свойств влияет образование хингидронов в результате окисления таннидов, что сопровождается потемнением раствора и снижении его pH. Предполагается, что ингибирование коррозии стали в воде водными экстрактами включает адсорбцию ИК с параллельной ионизацией железа до Fe(II).

В работе [15] исследовано влияние экстрактов растений ромашки (Chamaemelum mixtum L.), полубара (Cymbopogon proximus), черного тмина (Nigella sativa L.) и фасоли обыкновенной (Phaseolus vulgaris L.) на коррозию стали в 1М водном растворе H_2SO_4 методами электрохимической импедансной спектроскопии, которая показала, что процесс растворения стали происходит под активационным контролем. По потенциодинамическим поляризационным кривым исследуемые растительные экстракты ведут себя в сернокислых средах как эффективные ИК стали смешанного типа. Установлено, что ингибирование возрастает с увеличением концентрации растительного экстракта до некоторой критической концентрации и основано на адсорбции стабильного комплекса на поверхности стали.

Ингибирование коррозии стали, алюминия и меди в соляной, серной и лимонной кислоте с помощью патоки было изучено в [16]. Защитная эффективность для растворов HCl и H_2SO_4, содержащих 0,75% мелассы составила 83% и 13%, соответственно. Лото сообщил об ингибирующем действии Vernonia amygdalina (горький лист) на коррозию мягкой стали в 0,5 М HCl при 28 °C [15]. В [17] в качестве ИК углеродистой стали были изучены семена пажитника, люпина, плодов дум-пальмы, баклажана и др., а в работе [18] - такие встречающиеся в природе химические вещества, как катехин, кофейная кислота, галловая кислота и дубильная кислота, В

работе [19] использовали растительные отходы чистотела, алтея лекарственного, тысячелистника и др. В работе [20] в качестве ингибиторов кислотной коррозии предлагается использовать листья алоэ вера, кожуру апельсина или авокадо, экстракт опунции, табак, семена клещевины, черный перец аравийскую камедь, лигнин, кориандр, гибискус, анис, черный тмин, мед, лук, чеснок, горькую тыкву и др.

Использование натуральных продуктов в качестве ИК перспективно (экономично и экологично), потому что они биоразлагаемы, не представляют опасности для здоровья и являются возможным решением для переработки некоторых отходов агропроизводства.

Целью данной работы было изучение защитных свойств некоторых натуральных продуктов.

Материалы и методы

Исследования проводили на образцах из углеродистой стали Ст3. Изучали покрытия из подсолнечного и рапсового масел и их отстоев, нанесенных с помощью кисти; березового дегтя и его эмульсии (3 масс.% дегтя в дистиллированной воде), приготовленной с помощью гомогенизатора; отваров (3 г натурального продукта в 100 мл дистиллированной воды доводили до кипения и кипятили в течение 10 минут) бифунгина, черного и зеленого чая, кофе, коры дуба, очисток картофеля и свеклы, кожуры апельсина и банана, лаврового листа, луковой шелухи, полевого меда, сахара, ягод смородины, сушеного чеснока, табака, черного и красного перца, приправы хмели-сунели, чистотела.

Кинематическую вязкость растительных масел определяли с помощью стеклянного вискозиметра по ГОСТ 33768— 2015, плотность оценивали весовым методом.

Для оценки защитных свойств натуральных продуктов использовали гравиметрические исследования в термовлагокамере Г-4 в соответствии с ГОСТ 9.054-75 и в 0,5 М растворе растворе NaCl в соответствии с ГОСТ 9.042-75 и непосредственно в отварах растительных продуктов.

Результаты и обсуждение

Растительные масла имеют в своем составе триглицериды жирных кислот (≥ 95 %), небольшое количество свободных жирных кислот, фосфолипидов, стеринов, витаминов, красящих и слизистых веществ [21]. При сравнении составов подсолнечного и рапсового масел установили, что помимо различий в процентном составе различных кислотных остатков в триглицеридах, в рапсовом масле появляются кислотные остатки маргариновой, гептадеценовой, эруковой, лигноцериновой и нервоновой кислот, которые отсутствуют в триглицеридах подсолнечного масла.

Исследование влияния температуры на плотность подсолнечного и рапсового масел привели к получению линейной зависимости (рисунок 1) в диапазоне 20 -90 ^{0}С:

$$\rho_t = \rho_{20} - k_{\rho м} \cdot \Delta t, \quad (1)$$

где ρ_t – плотность масла при температуре t °С, кг/м^3; ρ_{20} – то же при температуре 20 °С, кг/м^3; k – температурный коэффициент изменения плотности, $\Delta t = (t - 20)$ – перепад температур, °С. Было определено, что для рапсового масла k = 0,716 кг/м^3·°С; для подсолнечного k = 0,727 кг/м^3·°С; Среднеквадратичное отклонение значений $\rho_{tм}$ от экспериментальных при этом не превышало ± 3,5 %.

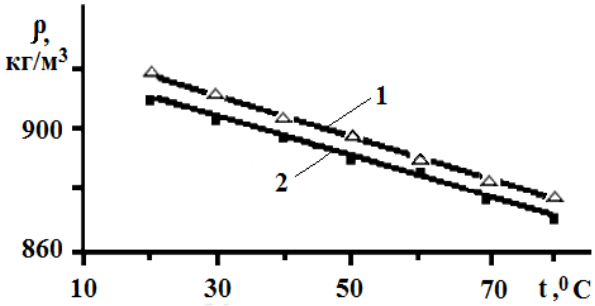

Рисунок 1 - Влияние температуры на плотность рапсового (1) и подсолнечного (2) масел

Кинематическая вязкость исследуемых растительных масел падает с ростом температуры, как показывают вязкостно-температурные кривые на рисунке 2. На зависимостях в полулогарифмических координатах наблюдаются изломы в области температур 60 – 70 ^{0}С.

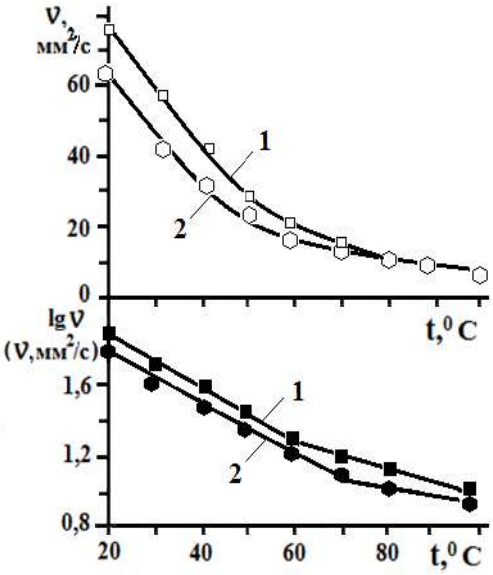

Рисунок 2 – Вязкостно-температурные кривые рапсового (1) и подсолнечного масел (2)

Из-за отсутствия в растительных маслах функциональных присадок можно предположить, что происходит их автоструктурирование в определенной области температур, в результате чего скачкообразно меняется характер зависимости *lgν =f (T)*. Этому способствует увеличение длины углеводородного радикала алканов, молекулы которых не способны ассоциировать за счет водородных связей. Учитывая многокомпонентный состав растительных масел, кажущееся автоструктурирование можно объяснить вкладом составляющих Ван-дер-Ваальсова взаимодействия (ориентационного, индукционного, дисперсионного) и образования водородных связей между полярными группами свободных карбоновых кислот, форсфолипидов, ацил-глицеридов и пр.

Некоторые результаты исследования защитных свойств растительных масел и их отстоев (ОПМ и ОРМ) при ускоренных коррозионных испытаниях в солевом растворе и термовлагокамере Г-4 показаны в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты ускоренных коррозионных испытаний масляных покрытий

№ пп	Покрытие	Толщина покрытия, мкм	0,5 М NaCl			Термовлагокамера Г-4	
			Защитная эффективность (%) на поверхности стали				
			сухая	влажная	ржавая	сухая	влажная
1	Подсолнечное масло	18	55	53	22	86	88
2	ОПМ	50	~100	~100	77	~100	~100
3	Рапсовое масло	17	70	69	28	95	93
4	ОРМ	51	~100	~100	60	~100	~100
Примечания - Скорость коррозии стали Ст3 без покрытия в термовлагокамере Г-4 0,012 г/м^2·ч, в 0,5М растворе NaCl – 0,015 г/м^2·ч. Продолжительность испытаний в термовлагокамере 40 сут., в 0,5 М растворе NaCl - 14 сут.							

Рапсовое масло обеспечивает защитную эффективность, большую, чем подсолнечное на 14-15 % при испытаниях в 0,5 М растворе NaCl и на 5-9 % - в термовлагокамере Г-4. Нанесение

растительных масел по влажной поверхности, что возможно на практике при проведении консервации сельскохозяйственной техники в осенний период, мало сказывается на изменении их защитной эффективности при ускоренных коррозионных испытаниях, потому что они проводятся либо в водном растворе, либо при непрерывной консервации влаги. А нанесение по ржавой (предварительно окисленной в течении 1 месяца) приводит к существенному снижению защитной эффективности (Z) покрытий: на 33 и 42 % для подсолнечного и рапсового масел, на 23 и 40 % для их отстоев соответственно. Отстои растительных масел полностью защищают стальную поверхность при испытаниях в солевом растворе в течение 14 суток и в термовлагокамере Г-4 в течение 40 суток (таблица 1). Более длительные испытания в солевом растворе показали, что ОПМ и ОРМ полностью защищают стальную поверхность в течение 3 месяцев (таблица 2), затем защитная эффективность начинает медленно снижаться.

Таблица 2 - Результаты ускоренных коррозионных испытаний в 0,5 М растворе NaCl

Покрытие	Скорость коррозии (К) и защитная эффективность (Z, %) при времени выдержки, сутки											
	14		30		60		90		120		160	
	$К·10^3$ г/м^{2}ч	Z, %	$К·10^3$ г/м^{2}ч	Z, %	$К·10^3$ г/м^{2}ч	Z, %	$К·10^3$ г/м^{2}ч	Z, %	$К·10^3$ г/м^{2}ч	Z, %	$К·10^3$, г/м^{2}ч	Z, %
ОПМ	~ 0	100	~ 0	100	~ 0	100	~ 0	100	1,0	98	6	90
ОРМ	~ 0	100	~ 0	100	~ 0	100	~ 0	100	1,5	97	6,6	89
Контроль	15		18		23		37		50		60	

Следует отметить, что скорость коррозии контрольных образцов стали без покрытия, растет с течением времени. Когда скорость коррозии контрольного образца через 160 суток увеличилась в 4 раза, защитная эффективность отстоев снизилась на 10 -11 %.

При натурно-стендовых испытаниях стальные пластины, покрытые исследуемыми растительными маслами и их отстоями, в течении полугода не покрывались продуктами коррозии при испытаниях в закрытом неотапливаемом помещении, но к концу года защитная эффективность покрытий составила 85 и 90 % для подсолнечного и рапсового масел, соответственно (таблица 3), отстои растительных масел по-прежнему полностью (Z ≈ 100%)защищали стальную поверхность.

Таблица 3 - Результаты натурно-стендовых испытаний масляных покрытий

Покрытие	Изменение защитной эффективности (Z, %) во времени, месяцев							
	1	3	6	12	1	3	6	12
	Неотапливаемое помещение				Открытая атмосфера			
Подсолнечное масло	100	100	100	85	69	38	27	15
ОПМ	100	100	100	100	100	100	100	100
Рапсовое масло	100	100	100	90	71	45	33	25
ОРМ	100	100	100	100	100	100	100	100
Примечания - Скорость коррозии (К) незащищенной стали ($К·10^3$), г/м^{2}ч: для открытой атмосферы $К_3$ -10; $К_6$ - 9,5; $К_{12}$ -10,2; для неотапливаемого помещения $К_3$ - 1,6; $К_6$ – 1,5; $К_{12}$ – 2,0. Индекс - длительность испытаний, месяцев								

При выдержке в открытой атмосфере покрытия из растительных масел разрушались быстрее. Уже через месяц испытаний стальные образцы покрылись ржавчиной, а покрытия на четверть потеряли свою защитную эффективность (таблица 3), через полгода защитная эффективность составляла 27 и 33 %, а через год - 15 и 25 %, для покрытий из подсолнечного и рапсового масел, соответственно. Большая часть поверхности стальных образцов к тому времени была покрыта ржавчиной. Возможно, низкая защитная эффективность растительных масел в открытой атмосфере связана с активным смывом покрытий атмосферными осадками, соответственно, недостаточно высокими адгезионными свойствами, особенно при высоких температурах. Зато

отстои растительных масел полностью защищают стальные поверхности в течение года. (таблица 3).

Как указывалось выше, перспективным натуральным продуктом для защиты от коррозии может оказаться березовый деготь, в состав которого входят гваякол, бетулин, толуол, ксилол, бензол, фенол, смолистые вещества, фитонциды и органические кислоты. Гравиметрические исследования этого продукта в 0,5 М растворе NaCl в течении 14 суток показали, что эмульсия на основе дегтя обладает лучшей защитной эффективностью, чем сам деготь (таблица 4).

Таблица 4 – Защитная эффективность композиций на основе дегтя

№ п/п	Покрытие	К, г/м^2·ч	Z, %
1	Без покрытия	0,046	-
2	Дёготь как покрытие	0,019	59
3	Эмульсия на основе дёгтя	0,008	83

Гравиметрические исследования показали, что скорости коррозии стали Ст3 в воде могут отличаться в зависимости от ее качества. Наибольшие скорости коррозии наблюдали для водопроводной воды, в дистиллированной и кипяченой воде при комнатной температуре скорости коррозии на 4-5 % меньше (таблица 5).

Таблица 5 – Скорость коррозии стальных пластин в воде

Вода	кипяченая	водопроводная	дистиллированная
Скорость коррозии, г/м^{2}ч	0,0343	0,0360	0,0340

В таблице 6 показаны результаты действия отваров (скорость коррозии (К) и защитная эффективность (Z)) на углеродистую сталь, а на рисунке 3 приведены фотографии внешнего вида некоторых образцов стали Ст3 после двухнедельной выдержки в отварах природных веществ. Следует отметить, что по внешнему виду стальных образцов не всегда можно судить количественно о защитных свойствах отваров, в которых выдерживали эти образцы.

Ожидаемо стимулирует коррозию водный раствор соли. Не защищают сталь отвары картофельных очисток, кожуры банана, бефунгина (высушенный гриб «чага»), полевого меда и чистотела. Во всех остальных отварах исследуемых природных соединениях есть белки, жиры и углеводы. У зеленого и черного чая состав отличается только количеством танинов и наличием в черном чае теофлавонов, поэтому их защитные свойства близки, хотя и достаточно слабые (Z=3-4 %).

Почти все вещества, имеющие в составе дубильные вещества, кроме полевого меда, обладают защитной эффективностью, причем более существенной, чем чаи. Если у хмели-сунели и коры дуба Z=27 %, то у черного кофе Z=51 %, а у отвара лаврового листа наилучшая защитная эффективность Z=70 %.

Таблица 6 - Скорость коррозии Ст3 после гравиметрических исследований в отварах

Отвар с природными веществами		Компоненты природного вещества	К г/м^{2}ч	Z, %
Вода	кипяченая		0,0343	
	водопроводная		0,0360	
	дистиллированная		0,0340	
Бефунгин		полисахариды, органические кислоты, гуминоподобная чаговая кислота, микроэлементы	0,0614	С
Чай	зеленый	танины, алкалоиды, аминокислоты, витамин С	0,0326	4
	черный	дубильные вещества (танины), алкалоиды, аминокислоты, витамин С, теофлавоны	0,0330	3

Кофе черный	кофейные масла, дубильные вещества, минералы, витамины	0,0167	51
Кора дуба (аптечная)	дубильные вещества, резорцин, пирогаллол, кислота галловая; флавоноиды; тритерпеновые соединения даммаранового ряда	0,0248	27
Картофельные очистки	крахмал, глюкоза, органические кислоты, жиры, минеральные соли	0,0714	С
Кожура апельсина	флавоноиды, пищевые волокна, лимонная и пектиновая кислоты, витамины, микроэлементы	0,0180	47
Кожура банана	крахмал, глюкоза, клетчатка, жиры, белки, минеральные вещества	0,0680	С
Лавровый лист	углеводы, эфирные (лавровое) масла, пищевые волокна, витамины микро- и макроэлементы, дубильные вещества, смолы, горечи	0,0102	70
Луковая шелуха	углеводы, жиры, витамины, микроэлементы, аминокислоты	0,0275	19
Полевой мед	углеводы (глюкоза), фруктоза, аминокислоты, флавоноиды, дубильные вещества, алкалоиды, ароматические кислоты	0,0580	С
Сахар	углеводы	0,0306	10
Свекла	глюкоза; щавелевая, яблочная, лимонная, аскорбиновая кислоты, пектины, белок, бетаин, каротин, витамины, микроэлементы	0,0299	12
Смородина замороженная	углеводы, белки, жиры, аскорбиновая кислота	0,0373	10
Соль	NaCl	0,1500	С
Сушеный чеснок	углеводы, белки, жиры, аллиин	0,0187	45
Табак из сигареты «Bond»	алкалоид, никотин, смолы, мочевина, ПВХ, стирол, толуол, цианистый водород, аммиак, мышьяк, акролеин, Ni, Cd, Po	0,0221	35
Хмели-сунели (смесь из 6 пряностей: базилик, майоран, острый красный перец, кориандр, шафран, укроп)	белки, жиры, углеводы, эфирные масла, бетулиновая кислота, флавоноиды, каротин, рутин, пектин, витамин С, пентозаны, дубильные вещества, алкалоиды, клетчатка, ненасыщенные жирные кислоты, смолы, витамины и минералы	0,0248	27
Черный молотый перец	крахмал, витамины, пиперин, пиперидин, клетчатка, смолы	0,0190	44
Паприка	белки, жиры, углеводы, витамины, минералы, эфирное масло	0,0373	10
Чистотел	алкалоиды, производные изохинолина, сапонины, эфирные масла, флавоноиды	0,0400	С

*С - стимулирование коррозии

Рисунок 3 - Фотографии внешнего вида образцов стали Ст3 после эксперимента в отварах природных веществ

Защитной эффективностью обладают также отвары всех природных веществ, в состав которых входят смолы (лавровый лист, хмели-сунели и табак), Z = 35%. Сахар, свекла, смородина черная, паприка обеспечивают Z = 10 -12%.

Заключение. Таким образом, рапсовое масло обеспечивает защитную эффективность, большую, чем подсолнечное на 14-15 % при испытаниях в 0,5 М растворе NaCl и на 5-9 % - в термовлагокамере Г-4. Нанесение растительных масел по влажной поверхности практически не влияет на их защитную эффективность, а нанесение по ржавой (предварительно окисленной в течении 1 месяца) приводит к существенному снижению защитной эффективности покрытий: на 33 и 42 % для подсолнечного и рапсового масел, на 23 и 40 % для их отстоев соответственно. Отстои растительных масел полностью защищают стальную поверхность при испытаниях в солевом растворе в течение 3 месяцев, в термовлагокамере Г-4 в течение 40 суток, при натурно-стендовых испытаниях в течение года. В солевом растворе достаточно хорошо защищает стальную поверхность эмульсия из дегтя. Для эффективной защиты углеродистой стали от атмосферной коррозии на непродолжительный срок можно рекомендовать экологически безопасные отвары распространенных натуральных продуктов, такие как лавровый лист, кофе черный, кожура апельсина, сушеный чеснок, черный молотый перец.

Список источников

1. Щербаков В. Г. Технология получения растительных масел. М.: Колос, 1992. 206 с
2. История развития катодной защиты от коррозии. http://mypractic.ru/istoriya-razvitiya-katodnoj-zashhity-ot-korrozii.html. Дата обращения 5.05.2023.
3. История создания судовых покрытий https://sea-man.org/sudovye-pokrytia.html. Дата обращения 5.05.2023.
4. Краткая история воронения. https://voroneniestali.ru/istoriya-voroneniya-oruzhiya Дата обращения 5.05.2023.
5. Козлова Л.С., Сибилева С.В., Чесноков Д.В., Кутырев А.Е. Ингибиторы коррозии (обзор)// Авиационные материалы и технологии.2015. №2.- С.67-75. DOI;10.18577/2071-9140-2015-0-2-67-75.
6. Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Шель Н.В., Князева Л.Г., Зазуля А. Н. Защита металлов от атмосферной коррозии масляными покрытиями (теория, практика, экологические аспекты). Москва: Издательство «КАРТЭК», 2014. – 232 с.
7. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Ostrikov V.V., Petrashev A.I. Properties of Petroleum and Synthetic Oils as Bases for Anticorrosion Materials//Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2019. Т. 55. № 4. С. 412-423.
8. . Петрашев А.И., Князева Л.Г., Клепиков В.В. Технологические решения по консервации сельскохозяйственной техники отработанными моторными маслами//Труды ГОСНИТИ. 2013. Т. 112. № 2. С. 61-65.
9. Вигдорович В.И., Князева Л.Г., Зазуля А.Н., Кузнецова Е.Г., Андреев Н.Н., Урядников А.А., Дорохов А.В. Использование летучего ингибитора ИФХАН-118 для защиты сельскохозяйственного оборудования от атмосферной коррозии//Российская сельскохозяйственная наука. 2016. № 1. С. 65-68.
10. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Shel N.V., Knyazeva L.G., Dorokhov A.V., Uryadnikov A.A. Protection of Carbon Steel against Atmospheric Corrosion by Volatile Inhibitors of IFKHAN Series at High Concentrations of CO_2, H_2S and NH_3//International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2018. Т. 7. № 2. С. 175-184.
11. Паршутин В.В., Шолтоян Н.С., Сидельникова С.П., Коваль А.В., Булхак И.И, Болога О.А., Шофранский В.Н. Влияние водного экстракта плодов конского каштана на коррозию стали Ст. 3 в воде//’Электронная обработка металлов.2011.-47(3)-С.90-99.
12. https://master-azov.ru/metally/faktory-korrozii-2.html Дата обращения 5.05.2023.
13. https://remstroiblog.ru/julia/2020/09/11/33-sposoba-kak-izbavitsya-ot-rzhavchiny-v-domashnih-usloviyah/ Дата обращения 5.05.2023
14. Mohammad Ramezanzadeh, Ghasem Bahlakeh, Zahra Sanaei, Bahram Ramezanzadeh Studying the Urtica dioica leaves extract inhibition effect on the mild steel corrosion in 1 M HCl solution: Complementary experimental, ab initio quantum mechanics, Monte Carlo and molecular dynamics studies // Journal of Molecular Liquids. – 2018. – Vol. 218. – P. 120–136.
15. Abdel-Gaber A.M., Abd-El-Nabey B.A., Sidahmed I.M., El-Zayady A.M., Saadawy M. Inhibitive action of some plant extracts on the corrosion of steel in acidic media// Corrosion science.2006.V.48.N.9.-P. 2765-2779.
16. Fiori-Bimbi María V., Alvarez Patricia E., Vaca Hugo, Gervasi Claudio A. Corrosion inhibition of mild steel in HCl solution by pectin// Corrosion Science, Volume 92, 2015, pp. 192-199
17. Saleh R.M., Ismail A.A., Hosary A.A. Corrosion inhibition by naturally occurring substances: The effect of fenugreek lupine, doum beet and solanum melongena extracts on the corrosion of steel, Al, Zn and Cu in acids. Corros. Prev. and Contr. 1984, 31(1), 21–23.
18. Kumar H, Yadav V. Highly efficient and eco-friendly acid corrosion inhibitor for mild steel: Experimental and theoretical study // Journal of Molecular Liquids. – 2021. – Vol. 335. – P. 116.
19. Жаксыбаева А.Г. Растительные отходы в качестве ингибитора коррозии металлов//актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2014 file:///C:/Users/user/Downloads/rastitelnye-othody-v-kachestve-ingibitora-korrozii-metallov.pdf. Дата обращения 10.05.2023

20. Лапцевич М.Д. Природные ингибиторы коррозии металлов. https://files.school-science.ru/pdf/18/63fc634792432.pdf. Дата обращения 10.05.2023

21. Князева Л. Г., Прохоренков В. Д. Растительные масла для противокоррозионной защиты. // Практика противокоррозионной защиты. 2009. № 2 (52). С. 22 – 27.

References

1. Shcherbakov VG Technology of obtaining vegetable oils. M.: Kolos, 1992. 206 p.

2. History of the development of cathodic corrosion protection. http://mypractic.ru/istoriya-razvitiya-katodnoj-zashhity-ot-korrozii.html. Retrieved 05/05/2023.

3. History of the creation of ship coatings https://sea-man.org/sudovye-pokrytia.html. Date of circulation 05/05/2023.

4. Brief history of bluing. https://voroneniestali.ru/istoriya-voroneniya-oruzhiya Retrieved 05/05/2023.

5. Kozlova L.S., Sibileva S.V., Chesnokov D.V., Kutyrev A.E. Corrosion inhibitors (review) // Aviation materials and technologies. 2015. No. 2.- P.67-75. DOI;10.18577/2071-9140-2015-0-2-67-75.

6. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Shel N.V., Knyazeva L.G., Zazulya A.N. Protection of metals from atmospheric corrosion by oil coatings (theory, practice, environmental aspects). Moscow: Publishing house "KARTEK", 2014. - 232 p.

7. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Ostrikov V.V., Petrashev A.I. Properties of Petroleum and Synthetic Oils as Bases for Anticorrosion Materials//Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2019. V. 55. No. 4. S. 412-423.

8. . Petrashev A.I., Knyazeva L.G., Klepikov V.V. Technological solutions for the conservation of agricultural machinery with used motor oils // Proceedings of GOSNITI. 2013. V. 112. No. 2. S. 61-65.

9. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Zazulya A.N., Kuznetsova E.G., Andreev N.N., Uryadnikov A.A., Dorokhov A.V. The use of the IFKhAN-118 volatile inhibitor to protect agricultural equipment from atmospheric corrosion // Russian Agricultural Science. 2016. No. 1. P. 65-68.

10. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Shel N.V., Knyazeva L.G., Dorokhov A.V., Uryadnikov A.A. Protection of Carbon Steel against Atmospheric Corrosion by Volatile Inhibitors of IFKHAN Series at High Concentrations of CO2, H2S and NH3//International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2018. V. 7. No. 2. S. 175-184.

11. V. V. Parshutin, N. S. Sholtoyan, S. P. Sidel'nikova, A. V. Koval', I. I. Bulkhak, O. A. Bologa, and V. N. Shofranskii, Russ. Influence of aqueous extract of horse chestnut fruit on corrosion of steel Art. 3 in water // 'Electronic processing of metals. 2011.-47 (3) - P. 90-99.

12. https://master-azov.ru/metally/faktory-korrozii-2.html Retrieved 05/05/2023.

13. https://remstroiblog.ru/julia/2020/09/11/33-sposoba-kak-izbavitsya-ot-rzhavchiny-v-domashnih-usloviyah/ Accessed 5.05.2023

14. Mohammad Ramezanzadeh, Ghasem Bahlakeh, Zahra Sanaei, Bahram Ramezanzadeh Stud-ying the Urtica dioica leaves extract inhibition effect on the mild steel corrosion in 1 M HCl solution: Complementary experimental, ab initio quantum mechanics, Monte Carlo and molecular dynamics studies // Journal of Molecular Liquids. - 2018. - Vol. 218. - P. 120-136.

15. Abdel-Gaber A.M., Abd-El-Nabey B.A., Sidahmed I.M., El-Zayady A.M., Saadawy M. Inhib-itive action of some plant extracts on the corrosion of steel in acidic media//Corrosion sci-ence.2006. V.48.N.9.-P. 2765-2779.

16. Fiori-Bimbi María V., Alvarez Patricia E., Vaca Hugo, Gervasi Claudio A. Corrosion inhibition of mild steel in HCl solution by pectin// Corrosion Science, Volume 92, 2015, pp. 192-199

17. Saleh R.M., Ismail A.A., Hosary A.A. Corrosion inhibition by naturally occurring substances: The effect of fenugreek lupine, doum beet and solanum melongena extracts on the corrosion of steel, Al, Zn and Cu in acids. corros. Prev. and Contr. 1984, 31(1), 21–23.

18. Kumar H, Yadav V. Highly efficient and eco-friendly acid corrosion inhibitor for mild steel: Ex-perimental and theoretical study // Journal of Molecular Liquids. - 2021. - Vol. 335. – P. 116.

19. Zhaksybaeva A.G. Plant waste as a metal corrosion inhibitor // Actual problems of the humanities and natural sciences. 2014 file:///C:/Users/user/Downloads/rastitelnye-othody-v-kachestve-ingibitora-korrozii-metallov.pdf. Retrieved 10.05.2023

20. Laptsevich M.D. Natural corrosion inhibitors of metals. https://files.school-science.ru/pdf/18/63fc634792432.pdf Retrieved 10.05.2023

21. Knyazeva L. G., Prokhorenkov V. D. Vegetable oils for anti-corrosion protection. // Practice of anti-corrosion protection. 2009. No. 2 (52). pp. 22 – 27.

Информация об авторах

Л.Г. Князева – доктор химических наук, доцент; А.В. Дорохов - кандидат химических наук; Н.А. Курьято – младший научный сотрудник; В.А. Брыксина - аспирант.

Information about the authors

L. Knyazeva – Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor; A. Dorokhov - Candidate of Chemical Sciences; N. Curiato - junior researcher; V. Bryksina - postgraduate student.

Вклад авторов: Л.Г. Князева – обзор литературы, формулировка цели и выводов, обработка и анализ результатов исследований; А.В. Дорохов, Н.А. Курьято, В.А. Брыксина – проведение экспериментальных исследований.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: L. Knyazeva - literature review, formulation of the goal and conclusions, processing and analysis of research results; A. Dorokhov, N. Kur`yato, V. Bryksina – conducting experimental studies.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 05.05.2023 Принята к публикации (Accepted): 01.06.2023