

## ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Научная статья

УДК 620.193

doi: 10.17308/sorpchrom.2023.23/11725

### **Оценка эффективности экстракта из кокосовой пыли в качестве ингибитора коррозии стальной арматуры в бетоне методом масс-спектрометрии**

**Као Ньят Линь<sup>1</sup>, Дмитрий Сергеевич Шевцов<sup>2</sup>, Нгуен Ван Чи<sup>1</sup>,  
Нонг Куок Куанг<sup>1</sup>, Ирина Владимировна Миненкова<sup>3</sup>, Фам Тхи Гам<sup>4</sup>,  
Нгуен Ань Тьен<sup>5</sup>, Александр Николаевич Зяблов<sup>2✉</sup>**

<sup>1</sup>Приморское отделение Совместного Российско-Вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра, Нячанг, Вьетнам

<sup>2</sup>Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия, alex-n-z@yandex.ru✉

<sup>3</sup>Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, Москва, Россия

<sup>4</sup>Ханойский университет бизнеса и технологий, Ханой, Вьетнам

<sup>5</sup>Хошиминский государственный педагогический университет, Хошимин, Вьетнам

**Аннотация.** Методом экстракции в этаноле произведено выделение веществ из отходов производства кокосового волокна (кокосовой пыли) в г. Бенче (Вьетнам), в состав которого входят флавоноиды, таннины, полифенолы, сапонины, алкалоиды, флобатаннины и антрахиноны. Наличие перечисленных соединений подтвердили фитохимическим скринингом. По результатам ИК-Фурье спектроскопии подтверждено наличие атомов кислорода и азота в функциональных группах (O–H, N–H, C–O и т.д.) и ароматических колец, характерных для типичных ингибиторов коррозии. С применением метода масс-спектрометрии показано, что в щелочном растворе без хлоридов на поверхности стали Ст3 формируется пассивная пленка на основе FeOOH. Введение NaCl концентрацией 1.00 моль/дм<sup>3</sup> приводит к образованию на всей анализируемой поверхности соединений по типу FeCl, FeCl<sub>2</sub>Cl<sup>-</sup> и FeCl<sub>3</sub>Cl<sup>-</sup>, при этом пики, характерные для FeOO<sup>-</sup> не регистрируются. Наибольшая плотность хлоридсодержащих соединений на поверхности стали совпадает с местами образования коррозионных разрушений. Добавка 2.00 г/дм<sup>3</sup> экстракта кокосовой пыли в хлоридный раствор предотвращает формирование соединений Fe и Cl на поверхности стали. Регистрируются только пики, характерные для FeOO<sup>-</sup> и органических фрагментов экстракта, содержащих атомы кислорода.

Сформулировано предположение о потенциальном ингибирующем действии экстракта из кокосовой пыли по отношению к локальной (питтинговой) коррозии низкоуглеродистой стали (Ст3) в водных щелочных растворах, моделирующих поровую жидкость бетона, в присутствии хлоридов. Введение экстракта в количестве 2.00 г/дм<sup>3</sup> предотвращает образование питтингов при концентрации хлоридов 1.00 моль/дм<sup>3</sup>. Для стали без добавки выявлены локальные коррозионные разрушения (различимые при увеличении). Полученные результаты являются основой для дальнейшего изучения защитных свойств экстракта из кокосовой пыли в качестве «зеленого» ингибитора коррозии низкоуглеродистой стали в бетоне в присутствии хлоридов.

**Ключевые слова:** кокосовая пыль, ингибитор коррозии, стальная арматура, хлориды, масс-спектрометрия.

**Для цитирования:** Линь К.Н., Шевцов Д.С., Чи Н.В., Куанг Н.К., Миненкова И.В., Гам Ф.Т., Тьен Н.А., Зяблов А.Н. Оценка эффективности экстракта из кокосовой пыли в качестве ингибитора коррозии стальной арматуры в бетоне методом масс-спектрометрии // *Сорбционные и хроматографические процессы. 2023. Т. 23, № 5. С. 906-914.* <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2023.23/11725>



Original article

## **Evaluation of the efficiency of coconut dust extract as a corrosion inhibitor for steel reinforcement in concrete by mass spectrometry**

**Cao Nhat Linh<sup>1</sup>, Dmitry S. Shevtsov<sup>2</sup>, Nguyen Van Chi<sup>1</sup>, Nong Quoc Quang<sup>1</sup>,  
Irina V. Minenkova<sup>3</sup>, Pham Thi Gam<sup>4</sup>, Nguyen Anh Tien<sup>5</sup>, Alexander N. Zyablov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Coastal Branch of the Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center, Nha Trang, Vietnam

<sup>2</sup>Voronezh State University, Voronezh, Russia, alex-n-z@yandex.ru

<sup>3</sup>Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry of RAS, Moscow, Russia

<sup>4</sup>Hanoi University of Business and Technology, Hanoi, Vietnam

<sup>5</sup>Ho Chi Minh City University of Education, Ho Chi Minh City, Vietnam

**Abstract.** Ethanol extraction was employed to isolate a range of compounds from waste products derived from coconut fiber production (coconut dust) in Ben Tre, Vietnam. Phytochemical screening confirmed the presence of flavonoids, tannins, polyphenols, saponins, alkaloids, flobatannins, and anthraquinones among the extracted substances. FT-IR spectroscopy analysis supported the identification of oxygen and nitrogen atoms within functional groups (e.g., O–H, N–H, C–O) and aromatic rings, characteristic of typical corrosion inhibitors. Mass spectrometry investigations indicated that when St3 steel was exposed to an alkaline solution lacking chlorides, a passive film composed of FeOOH formed on the surface. However, upon the addition of NaCl at a concentration of 1.00 mol/dm<sup>3</sup>, FeCl, FeCl<sub>2</sub>Cl<sup>-</sup>, and FeCl<sub>3</sub>Cl<sup>-</sup> compounds were detected across the analyzed surface, while peaks corresponding to FeOO<sup>-</sup> were absent. Remarkably, areas with the highest concentration of particles corresponded to regions exhibiting visible corrosion damage under magnification. The addition of 2.00 g/dm<sup>3</sup> of coconut dust extract to the chloride solution prevents the formation of Fe and Cl compounds on the steel surface. Consequently, only peaks characteristic of FeOO<sup>-</sup> and organic fragments containing oxygen atoms from the extract were observed.

Based on these results, it can be assumed that coconut dust extract has the potential to inhibit local (pitting) corrosion of low-carbon steel (St3) when exposed to aqueous alkaline solutions simulating concrete pore liquid containing chlorides. The addition of 2.00 g/dm<sup>3</sup> of the extract has been shown to prevent pitting formation at a chloride concentration of 1.00 mol/dm<sup>3</sup>. Conversely, in the absence of the extract, visible local corrosion damage was observed upon magnification. These findings provide a basis for further exploration of the protective properties of coconut dust extract as an environment-friendly corrosion inhibitor for mild steel in concrete environments containing chlorides.

**Keywords:** coconut dust, corrosion inhibitor, steel reinforcement, chlorides, mass spectrometry.

**For citation:** Linh C.N., Shevtsov D.S., Chi N.V., Quang N.Q., Minenkova I.V., Gam Ph.Th., Tien N.A., Zyablov A.N. Evaluation of the efficiency of coconut dust extract as a corrosion inhibitor for steel reinforcement in concrete by mass spectrometry. *Sorbtsionnyye i khromatograficheskiye protsessy*. 2023. 23(5): 906-914. (In Russ.). <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2023.23/11725>

### **Введение**

Кокосовая пыль является побочным продуктом при переработке кокосового волокна и обладает способностью удерживать значительное количество влаги [1]. Доля пыли в кокосовой скорлупе составляет около 35% от массы сухого остатка. В настоящее время использование кокосовой пыли в хозяйственных целях ограничено. Экономическая ценность кокосовой пыли является самой низкой,

поэтому большая часть пыли выбрасывается. Несколько исследований [2-4] показали, что экстракты кокосовой пыли содержат значительное количество органических соединений, таких как танины, полифенолы, флавоноиды, сапонины, алкалоиды, и могут потенциально использоваться в качестве ингибиторов коррозии металлов. «Зеленые» ингибиторы коррозии, то есть вещества, получаемые из продуктов и/или отходов раститель-

ного происхождения, широко исследуются, в том числе для защиты стальной арматуры в бетонных конструкциях. Известны работы по оценке эффективности экстрактов из листьев платана остролистного [5], имбиря [6], эвкалипта [7]. Также опубликованы обзорные статьи [8-10], которые подтверждают высокую эффективность «зеленых» ингибиторов коррозии стальной арматуры в бетоне.

Применение физических методов исследования, позволяющих анализировать наличие частиц и их распределение по поверхности (например, масс-спектрокопия), позволяет уточнить данные об образующихся продуктах реакции и оценить влияние потенциальных ингибиторов коррозии [11].

Целью работы было получение и анализ экстракта из кокосовой пыли, а также оценка его эффективности в качестве ингибитора коррозии стальной арматуры в бетоне методом масс-спектрометрии. Данная работа является продолжением теоретического исследования [12], в котором методами квантовохимического моделирования была подтверждена потенциальная возможность применения экстракта в качестве ингибитора коррозии.

### Экспериментальная часть

**Экстракция из кокосовой пыли.** Кокосовая пыль, использованная в данном исследовании, получена на предприятиях по производству кокосового волокна в городе Бенче, Вьетнам. Экстракцию органических соединений из кокосовой пыли проводили следующим образом: 100 г пыли помещали в этанол и выдерживали в течение 48 часов при постоянном перемешивании, после чего раствор фильтровали. Фильтрат, содержащий экстракт целевых веществ, концентрировали с помощью ротационного испарителя и доводили до полного высыхания на водяной бане. В результате получали сухой остаток, который хранился при температуре +5°C [4, 13].

**ИК-спектроскопия.** Для получения ИК-спектра сухого остатка экстракта кокосовой пыли использовали ИК-Фурье спектрометр TENSOR 27 (Bruker) в диапазоне 4000-400 см<sup>-1</sup>. Интерпретацию полученных результатов проводили с использованием ранее опубликованных источников [14].

**Приготовление рабочих растворов.** Для приготовления рабочих растворов бетонных образцов применяли цемент, песок и воду в соотношении 1:3:0.5 (по массе). Бетонные образцы выдерживали на воздухе в течение 7 дней для полного затвердевания. Затем образцы измельчали в фарфоровой ступке до получения порошка с диаметром частиц 0.2 мм. Контроль размера частиц осуществлялся с использованием сита с подходящими ячейками. Далее порошок бетона сушили до достижения постоянной массы при температуре 105°C. Для получения растворов, имитирующих поровую жидкость бетона, проводили экстракцию из порошка бетона дистиллированной водой в течение 5 часов при постоянном перемешивании и температуре 25°C. Соотношение вода/бетон составило 5:1 по массе. Контроль pH водной экстракции из бетона (pH = 12÷13) осуществляли с помощью портативного pH-метра HI 8314 (Hanna Instruments, Италия) [15].

В качестве объекта исследования использовали пластину на основе низкоуглеродистой стали Ст3. Пластины площадью 1 см<sup>2</sup> погружали в водную вытяжку из бетона без добавок (образцы «0»), с добавкой 1.00 М NaCl (образцы «1»), а также с добавкой 1.00 моль/дм<sup>3</sup> NaCl и экстракта кокосовой пыли с содержанием 2.0 г/дм<sup>3</sup> (образцы «2»). Выдерживали в течение трех суток в открытой ячейке, после чего извлекали и сушили в атмосфере азота. Толщина водной вытяжки над рабочей поверхностью составляла 20 мм.

**Масс-спектрометрия.** Масс-спектрометрические исследования проводили с источником на основе активированной

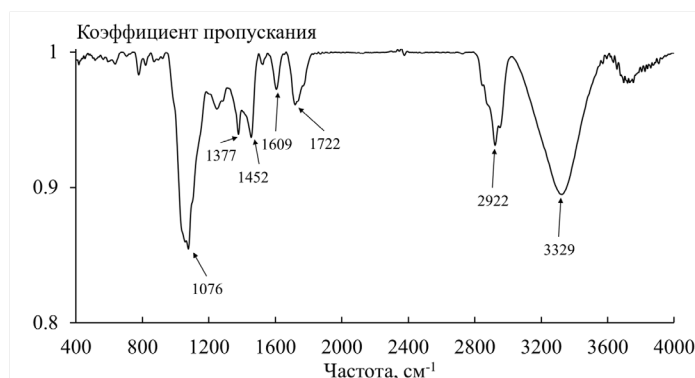


Рис.1. ИК-спектр сухого остатка экстракта из кокосовой пыли  
Fig. 1. FTIR spectrum of ethanol extract of coconut dust

поверхностью и матрицей лазерной десорбцией/ионизацией Bruker Daltonics Ultraflex II (Bruker, Германия), оборудованным азотным лазером с длиной волны излучения 337.1 нм. Исследуемый образец стальной пластины закрепляли на специальной плашке и вакуумировали до  $10^{-9}$  атм. Эксперименты проводили в режимах регистрации как положительных, так и отрицательных ионов в следующих условиях (положительные/отрицательные): напряжение на выталкивающем электроде – 25/20 кВ; доускоряющее напряжение – 21.5/17.5 кВ; напряжение на фокусирующей системе – 10/7.50 кВ; тормозящее напряжение на ионном зеркале – 26.40/21 кВ; отражающее напряжение на ионном зеркале – 14.20/11 кВ. Для получения наиболее информативных масс-спектров использовали режим работы лазера: 50 выстрелов с частотой 20 Гц; энергия лазерного импульса составляла 60-80 мкДж. Диапазон получения масс-спектров 20-1000 Да.

### Обсуждение результатов

В ходе исследования выполнили фитохимический скрининг экстракта кокосовой пыли. Предварительный качественный анализ позволил обнаружить присутствие следующих соединений: флавоноиды, танины, полифенолы, сапонины, алкалоиды, флобатаннины и антрахиноны [4, 13].

Инфракрасный спектр экстракта кокосовой пыли представлен на рис. 1. Пик

$3329 \text{ см}^{-1}$  соответствует колебаниям связи О–Н. Появление пика  $2922 \text{ см}^{-1}$  связано с валентными колебаниями связи С–Н. Экстракт кокосовой пыли также характеризуется полосой  $1609 \text{ см}^{-1}$ , которая соответствует деформационным колебаниям групп N–H. Пик  $1452 \text{ см}^{-1}$  указывает на скелетные колебания связи С–С в бензольном кольце. Пик  $1076 \text{ см}^{-1}$  соответствует деформационным колебаниям связи С–О. Таким образом, экстракты кокосовой пыли содержат атомы кислорода и азота в функциональных группах (О–Н, N–H, С–О и т.д.) и ароматические кольца, что является характерным для типичных ингибиторов коррозии [16].

После извлечения из растворов, цвет поверхности образцов «0» и «1» остался неизменным по сравнению с оригиналом. У поверхности образцов «2» наблюдается светло-желтый оттенок, свидетельствующий о наличии адсорбции ингибитора. На поверхностях данных образцов не обнаружено видимых признаков коррозии.

Для визуализации присутствия хлора на поверхности стали проводили масс-спектрометрический анализ при регистрации отрицательных ионов. Построение диаграммы распределения ионов на исследуемой поверхности осуществлялось с использованием режима регистрации отрицательных ионов. Размер диаграммы составлял  $20 \times 20$  точек с шагом  $500 \text{ мкм}$  ( $1 \text{ см}^2$ ).

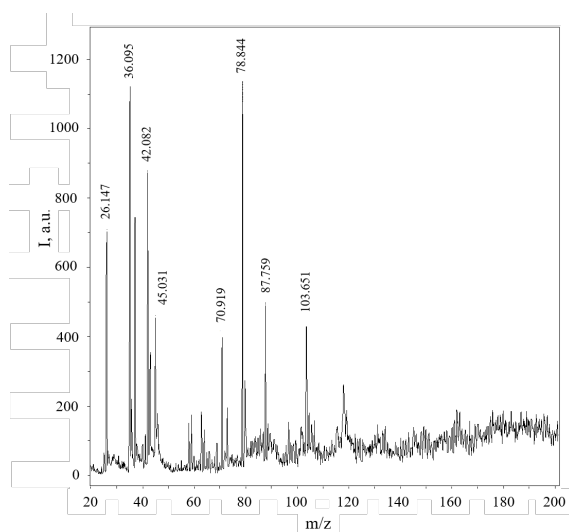


Рис. 2. Масс-спектр отрицательных ионов на поверхности образцов «0»

Fig. 2. Mass spectrum of negative ions on the surface of samples "0"

На масс-спектре образца «0» в режиме регистрации отрицательных ионов не обнаружено ионов хлора (рис. 2). При этом имеет место пик с массой 88 Да, который связан соединениями  $\text{FeOO}^-$ . Остальные обнаруженные пики можно отнести к технологическим примесям органической природы. Таким образом, отсутствие хлорид-ионов в щелочной среде ( $\text{pH}=12\div 13$ ), приводит к пассивации стали с образованием на ее поверхности защитного слоя оксида железа, что согласуется с ранее опубликованными результатами [17, 18] и диаграммой Пурбе для системы  $\text{Fe}-\text{H}_2\text{O}$  [19].

На рис. 3 представлен масс-спектр образцов «1» в режиме регистрации отрицательных ионов. Пик со значением  $m/z$  35(37) Да соответствует иону хлора. Также на поверхности образцов «1» установлены частицы, характерные для продуктов коррозии стали: 93 Да –  $\text{FeCl}$ , 162 Да –  $\text{FeCl}_2\text{Cl}^-$ , 198 Да –  $\text{FeCl}_3\text{Cl}^-$ . Показано, что в присутствии хлорид-ионов на поверхности стали Ст3 образуются соединения хлора с железом. Образование данных соединений сопровождается нарушением пассивного состояния и образованием продуктов коррозии, что согласуется с результатами визуального

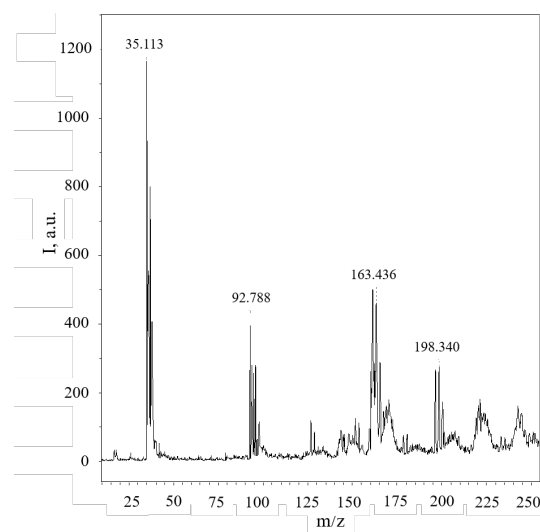


Рис. 3. Масс-спектр отрицательных ионов на поверхности образцов «1»

Fig. 3. Mass spectrum of negative ions on the surface of samples "1"

осмотра образцов «1». Для оценки распределения частиц  $\text{Cl}^-$  и  $\text{FeCl}_2\text{Cl}^-$  на изучаемых поверхностях построены двумерные диаграммы (рис. 4-5). Показано, что хлорид-ионы равномерно распределены по всей поверхности образцов «1». Соединения  $\text{FeCl}_2\text{Cl}^-$  располагаются локально.

Таким образом, проведение масс-спектрометрического анализа с лазерной десорбцией/ионизацией позволяет проводить оценку присутствия хлорид-ионов в свободной форме и в форме соединений с железом на поверхности низкоуглеродистой стали, а также получать данные о распределении частиц по поверхности. При сопоставлении с результатами анализа контрольных образцов существует возможность идентифицировать области с образованием питтингов, которые не различимы при визуальном осмотре без увеличения.

По сравнению с образцами «1» на поверхности образцов «2» (рис. 6) пики, характерные для соединений  $\text{FeCl}_2\text{Cl}^-$ ,  $\text{FeCl}_3\text{Cl}^-$  не наблюдаются. При введении ингибиторов коррозии на поверхности стали Ст3 сохраняется оксидный слой  $\text{FeOOH}$  (88 Да). На поверхности металла происходит конкурентная адсорбция

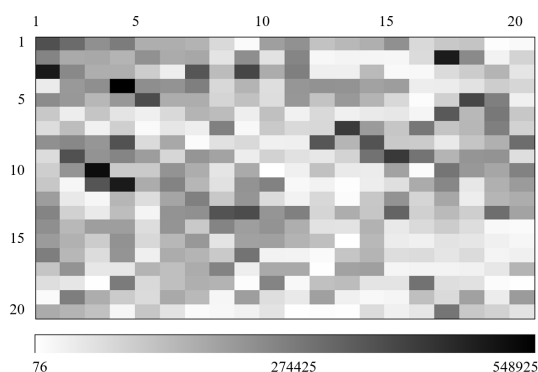


Рис. 4. Двумерная диаграмма распределения  $\text{Cl}^-$  (35 Да) по поверхности образцов «1», шаг построения 500 мкм  
 Fig. 4. 2D distribution diagram of  $\text{Cl}^-$  (35 Da) on the surface of samples «1», the scanning step – 500  $\mu\text{m}$

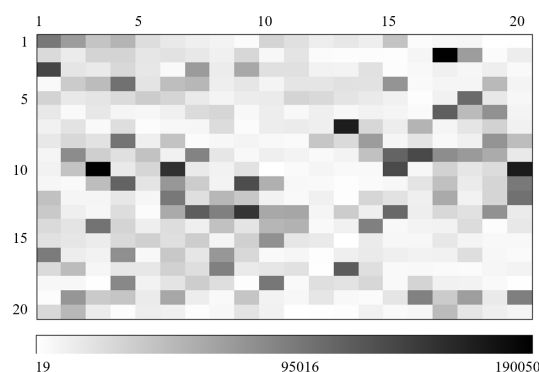


Рис. 5. Двумерная диаграмма распределения  $\text{FeCl}_2\text{Cl}^-$  (162 Да) по поверхности образцов «1», шаг построения 500 мкм  
 Fig. 5. 2D distribution diagram of  $\text{FeCl}_2\text{Cl}^-$  (162 Da) on the surface of samples «1», the scanning step – 500  $\mu\text{m}$

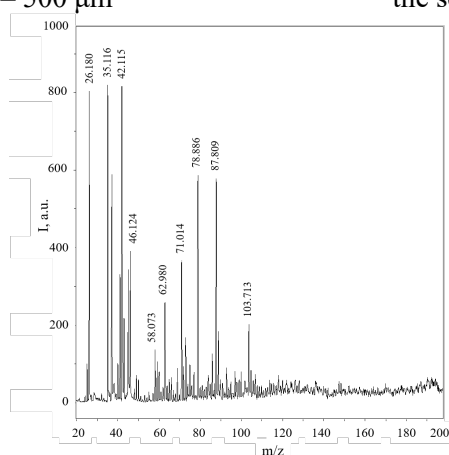


Рис. 6. Масс-спектр отрицательных ионов на поверхности образцов «2»  
 Fig. 6. Mass spectrum of negative ions on the surface of samples «2»

между ингибитором и ионами хлорида. При обработке металла экстрактом кокосовой пыли на изучаемой поверхности значительно уменьшается слой коррозионных продуктов. Проявившиеся в масс-спектре образцов «2» пики органической природы технологических примесей (26, 42, 71, 79 и 103 Да) указывают на эффективное действие ингибитора, которое приводит к снижению содержания хлорид-ионов и других продуктов коррозии. Аналогичные пики были отмечены и для контрольных образцов «0».

На поверхности образцов «2», по сравнению с образцами «0», обнаружены дополнительные пики массы 46, 58 и 63 Да.

Эти пики, вероятно, связаны с органическими фрагментами ингибитора, содержащими атомы кислорода.

На исследованной поверхности образцов «2» (рис. 7) выделены участки с наибольшим концентрированием частицы со значением  $m/z$  35 Да – левая верхняя часть диаграммы. По данным Рис. 8 на этих же участках имеет место концентрирование  $\text{FeOO}^-$ . Таким образом, присутствие ионов хлора не приводит к нарушению пассивного состояния на стали Ст3, что согласуется с результатами визуального осмотра поверхности образцов. Таким образом, применяемый экстракт из кокосовой пыли при содержании 2.0 г/дм<sup>3</sup> обеспечивает защиту от коррозии низкоуглеродистой стали Ст3 в

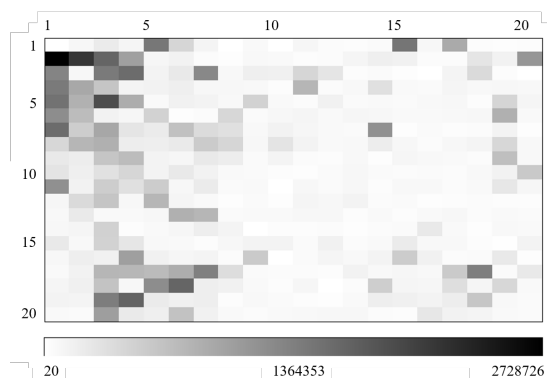


Рис. 7. Двумерная диаграмма распределения  $\text{Cl}^-$  (35 Да) по поверхности образцов «2», шаг построения 500 мкм  
Fig. 7. 2D distribution diagram of  $\text{Cl}^-$  (35 Da) on the surface of samples “2”, the scanning step – 500  $\mu\text{m}$

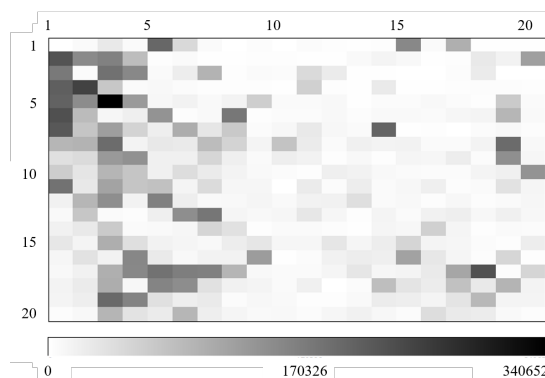


Рис. 8. Двумерная диаграмма распределения  $\text{FeOO}^-$  (88 Да) по поверхности образцов «2», шаг построения 500 мкм  
Fig. 8. 2D distribution diagram of  $\text{FeOO}^-$  (88 Da) on the surface of samples “2”, the scanning step – 500  $\mu\text{m}$

водной вытяжке из бетона в присутствии хлоридов концентрацией 1.00 моль/дм<sup>3</sup>.

### Заключение

Анализ ИК-спектра экстракта кокосовой пыли подтвердил присутствие функциональных групп, содержащих атомы кислорода и азота, а также ароматических колец, что является характерным для типичных ингибиторов коррозии.

Результаты анализа масс-спектрометрии позволяют разделить пассивное состояние и локальную активацию. Пассивное состояние (водная вытяжка из бетона без хлоридов) характеризуется образованием частиц  $\text{FeOO}^-$ . На поверхности стали Ст3 в водной вытяжке из бетона с добавкой 1.00 М NaCl установлено образование продуктов коррозии, в том числе с образованием соединений Fe и Cl. При введении в хлоридсодержащий раствор экстракта из кокосовой пыли concentra-

цией 2.0 г/дм<sup>3</sup> реализуется пассивное состояние: соединения Fe и Cl не обнаруживаются на поверхности металла. При этом свободные хлориды присутствуют на поверхности, но не вызывают локальную активацию. Таким образом, экстракт кокосовой пыли может рассматриваться как потенциальный ингибитор коррозии стальной арматуры в бетоне в присутствии хлоридов.

В рамках развития работы, предполагается дальнейшее исследование ингибирующего действия по отношению к коррозии низкоуглеродистой стали на образцах бетонов при действии хлоридов.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет известных финансовых конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в этой статье.

### Список литературы/References

1. Tram T.T.N., Yen T.P., Anh T.T. et.al. Somatic embryogenesis of *Polyscias fruticosa* L. Harms via culturing ex vitro leaf explant. *Vietnam Journal of Biotechnology*. 2020; 18(3): 497-506.
2. Singh P., Dubey P., Younis, K. et. al. A review on the valorization of coconut shell waste. *Biomass Conversion and Biorefinery*.

2022; 1-11. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03001-2>

3. Haryanti P., Poetri R.K. Phytochemical Characteristic and Antimicrobial Activity of Coconut Coir Extract on Various Solvents. *3rd International Conference on Sustainable Agriculture for Rural Development (ICSARD 2022)*. 2023; 169-182. <https://doi.org/10.2991/978-94-6463-128-919>



4. Umoren S.A., Eduok U.M., Israel A.U. et. al. Coconut coir dust extract: a novel eco-friendly corrosion inhibitor for Al in HCl solutions. *Green chemistry letters and Reviews*. 2012; 5(3): 303-313. <https://doi.org/10.1080/17518253.2011.625980>
5. Liu Q., Song Z., Han H. et. al. A novel green reinforcement corrosion inhibitor extracted from waste Platanus acerifolia leaves. *Construction and Building Materials*. 2020; 260: 119695. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119695>
6. Liu Y., Song Z., Wang W. et. al. Effect of ginger extract as green inhibitor on chloride-induced corrosion of carbon steel in simulated concrete pore solutions. *Journal of cleaner production*. 2019; 214: 298-307. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.299>
7. Al-Akhras N., Mashaqbeh Y. Potential use of eucalyptus leaves as green corrosion inhibitor of steel reinforcement. *Journal of Building Engineering*. 2021; 35: 101848. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101848>
8. Asmara Y.P., Kurniawan T., Sutjipto A.G.E. et.al. Application of plants extracts as green corrosion inhibitors for steel in concrete-A review. *Indonesian Journal of Science and Technology*. 2018; 3(2): 158-170. <https://doi.org/10.17509/ijost.v3i2.12760>
9. Asaad M.A., Hussein M.N., Alkadhimi A.M. et. al. Commercial and green corrosion inhibitors for reinforced concrete structures: A Review. *International Journal of Current Science Research and Review*. 2021; 4(2): 89-99. <https://doi.org/10.47191/ijcsrr/V4-i2-04>
10. Abdulrahman A.S., Mohammad I., Mohammad S.H. Corrosion inhibitors for steel reinforcement in concrete: A review. *Scientific Research and Essays*. 2011; 6(20): 4152-4162. <https://doi.org/10.5897/SRE11.1051>
11. Abd El-Raouf M., Khamis E.A., Abou Kana M.T.H. et. al. Electrochemical and quantum chemical evaluation of new bis(coumarins) derivatives as corrosion inhibitors for carbon steel corrosion in 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. *Journal of Molecular Liquids*. 2018; 255: 341-353. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.01.148>
12. Cao Nhat Linh, Shevtsov D.S., Nguyen Van Chi et. al. Evaluation of the applicability of an extract from the waste during coconut fiber processing as a corrosion inhibitor of steel reinforcement in concrete. *Butlerov Communications*. 2022; 72(11): 30-35. <https://doi.org/10.37952/ROI-jbc-01/22-72-11-30> (Russian)
13. Ramesh T., Chauhan D.S., Quraishi M.A. Coconut Coir Dust Extract (CCDE) as green corrosion inhibitor for rebar' steel in concrete environment. *International Journal of Corrosion and Scale Inhibition*. 2021; 10(2): 618-633. <http://dx.doi.org/10.17675/2305-6894-2021-10-2-9>
14. Kazitsyna L.A., Kupletskaya N.B. Application of UV, IR and NMR spectroscopy in organic chemistry. Moscow. High school. 1971. 264 p. (in Russ.)
15. Cao Nhat Linh, Nguyen Van Chi, Nong Quoc Quang et. al. Detection of chlorine ions on the surface of reinforcement steels after contact with the model environment by mass spectrometry. *Chem-ChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022; 65(6): 6-11. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20226506.6520> (in Russ.)
16. Gerengi H., Sahin H.I. Schinopsis lorenzii extract as a green corrosion inhibitor for low carbon steel in 1 M HCl solution. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2012; 51(2): 780-787. <http://dx.doi.org/10.1021/ie201776q>
17. Li X., Liu J., Wang J. et. al. Microstructure of passive film on steel in synthetic concrete pore solution in presence chloride and nitrite. *Int. J. Electrochem. Sci*. 2019; 14: 8624-8638. <https://doi.org/10.20964/2019.09.43>
18. Hou D., Zhang K., Hong F. et. al. The corrosion deterioration of reinforced passivation film: The impact of defects. *Applied Surface Science*. 2022; 582: 152408. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2021.152408>





19. Misawa T. The thermodynamic consideration for Fe-H<sub>2</sub>O system at 25C. *Corrosion Science*. 1973; 13(9): 659-676.

[https://doi.org/10.1016/S0010-938X\(73\)80037-X](https://doi.org/10.1016/S0010-938X(73)80037-X)

10.1016/S0010-

### Информация об авторах / Information about the authors

**Као Ньят Линь** – к.х.н., исследователь, Приморское отделение Совместного Российско-Вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра, Нячанг, Вьетнам

**Д.С. Шевцов** – М.н.с. Лаборатории органических добавок для процессов химического и электрохимического осаждения металлов и сплавов, применяемых в электронной промышленности, Воронежский государственный университет, Воронеж

**Нгуен Ван Чи** – к.т.н., исследователь, Приморское отделение Совместного Российско-Вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра, Нячанг, Вьетнам

**Нонг Куок Куанг** – к.т.н., исследователь, Приморское отделение Совместного Российско-Вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра, Нячанг, Вьетнам

**И.В. Миненкова** – к.х.н., младший научный сотрудник лаборатории физикохимических основ хроматографии и хромато-масс-спектрометрии, Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, Москва

**Фам Тхи Гам** – Преподаватель фармацевтического факультета, Ханойский университет бизнеса и технологий, Ханой, Вьетнам

**Нгуен Ань Тьен** – к.х.н., заведующий кафедрой неорганической химии, Хошиминский государственный педагогический университет, Хошимин, Вьетнам

**А.Н. Зяблов** – д.х.н., профессор кафедры аналитической химии, Воронежский государственный университет, Воронеж

**Cao Nhat Linh** – Ph.D. in Chemistry, Researcher, Coastal Branch of the Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center, Nha Trang, Vietnam, e-mail: [cnlinh0812@vrtc.org.vn](mailto:cnlinh0812@vrtc.org.vn)

**D.S. Shevtsov** – J.R. at the Laboratory of Organic Additives for Chemical and Electrochemical Deposition of Metals and Alloys Used in the Electronics Industry, Voronezh State University, Voronezh, e-mail: [shevtsov@chem.vsu.ru](mailto:shevtsov@chem.vsu.ru)

**Nguyen Van Chi** – Ph.D., Researcher, Coastal Branch of the Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center, Nha Trang, Vietnam, e-mail: [nguyenvanchirvtc@gmail.com](mailto:nguyenvanchirvtc@gmail.com)

**Nong Quoc Quang** – Ph.D., Researcher, Coastal Branch of the Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center, Nha Trang, Vietnam, e-mail: [nquocquang5@gmail.com](mailto:nquocquang5@gmail.com)

**I.V. Minenkova** – Ph.D., Junior Researcher of Laboratory of Physicochemical Principles of Chromatography and Chromatography-Mass Spectrometry, Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry of RAS, Moscow, e-mail: [irina.vl.minenkova@mail.ru](mailto:irina.vl.minenkova@mail.ru)

**Pham Thi Gam** – Lecturer, Faculty of Pharmacy, Hanoi University of Business and Technology, Hanoi, Vietnam. e-mail: [gampham@mail.ru](mailto:gampham@mail.ru)

**Nguyen Anh Tien** – Ph.D. in Chemistry, Chief of Inorganic Chemistry Department, Ho Chi Minh City University of Education, Ho Chi Minh City, Vietnam, e-mail: [tienna@hcmue.edu.vn](mailto:tienna@hcmue.edu.vn)

**A.N. Zyablov** – Doctor of Chemical Sciences, Professor of the Department of Analytical Chemistry, Voronezh State University, Voronezh, e-mail: [alex-n-z@yandex.ru](mailto:alex-n-z@yandex.ru)

*Статья поступила в редакцию 28.06.2023; одобрена после рецензирования 07.11.2023; принята к публикации 15.11.2023.*

*The article was submitted 28.06.2023; approved after reviewing 07.11.2023; accepted for publication 15.11.2023.*