государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: dmafonichev@yandex.ru

Забродская Алла Владимировна – научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Author credentials

Affiliations

Ostrikov Valery Vasilievich – Full Doctor of Technical Sciences, Acting Director of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Vigdorowitsch Michael – Full Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: dr.vigdorowitsch@angara-gmbh.de.

Nagdaev Vladimir – Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Orobinsky Vladimir – Full Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great”, Russia, Voronezh, e-mail: main@agroeng.vsau.ru.

Afonichev Dmitry – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great”, Russia, Voronezh, e-mail: dmafonichev@yandex.ru.

Zabrodskaya Alla – Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Поступила в редакцию (Received): 02.03.2021 Принята к публикации (Accepted): 14.04.2021

УДК 620.197.7:631.17

DOI: 10.35887/2305-2538-2021-2-83-94

О ЗАЩИТЕ ОТ БАКТЕРИАЛЬНОЙ КОРРОЗИИ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ВРЕМЕННОГО ХРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ В АПК

¹Зеленцова Вероника Александровна

²Белоглазов Сергей Михайлович

³Князева Лариса Геннадьевна

³Корнев Алексей Юрьевич

¹ГАУ КО ДПО «Институт развития образования»

²ФГАОУ ВО Балтийский Федеральный университет им. И. Канта

³ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. Для защиты от коррозии резервуаров хранения нефтепродуктов в АПК необходимо подбирать материалы, которые, помимо высокой защитной эффективности обладают высокой бактерицидной способностью. В данной работе с этой целью изучали действие 12 хиральных анионных комплексов кобальта (III), 6 из которых имели атом брома в своей структуре, в качестве ингибиторов коррозии углеродистой стали Ст3 с одновременной оценкой их бактерицидного действия на сульфатредуцирующей бактерии (СРБ). В качестве модельной коррозионной среды использовали водно-солевой раствор Postgate В, поддерживающий развитие анаэробных СРБ. Для культивирования СРБ отбирали ил в весенний период из природного источника. Максимум численности СРБ наблюдали на 3 – 4 сутки эксперимента. Бактерицидную способность оценивали по данным бактериального титра, водородного показателя среды,

концентрации биогенного сероводорода. Защитную эффективность образцов стали Ст3 от коррозии определяли весовым методом. Путем анодного растворения определяли объем наводороживания стальных образцов. Установили, что все исследуемые соединения - бактерициды, угнетающие деятельность СРБ. Соединения первой серии способствуют смещению pH в сторону более щелочных значений, соединения, имеющие в структуре атом брома – закисляют среду. Сделан вывод о том, что бактерицидный эффект, в первую очередь, определяется снижением численности живых микроорганизмов. Подавление их способности продуцировать сероводород под действием исследуемых соединений имеет место, но в меньшей степени. Определили, что наиболее активно подавляют бактериальную коррозию и наводороживание во всем исследуемом диапазоне концентраций 1 – 10 мМоль/л следующие соединения: Δ,L-бис-(N-салицилиденаспарогина-токобальтат) натрия, Δ,L-бис-(N-салицилиденглутамино-кобальтат) натрия, Δ,L-бис-(N-5Br салицилиден валинатокобальтат) натрия, Δ,L-бис-(N-5Br салицилиденлейцинатокобальтат) натрия. Для этих же соединений получен максимальный защитный эффект (90 – 93 %). Минимальный защитный эффект (46 %) наблюдали для Δ, L-бис-(N-салицилиденвалинато-кобальтат) натрия при концентрации 1 мМоль/л.

Ключевые слова: резервуары для хранения нефтепродуктов, сульфатредуцирующие бактерии, ингибиторы коррозии, бактерициды.

ABOUT PROTECTION AGAINST BACTERIAL CORROSION OF TANKS FOR TEMPORARY STORAGE OF PETROLEUM PRODUCTS IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

¹Zelentsova Veronika

²Beloglazov Sergey

³Knyazeva Larisa

³Kornev Alexey

¹KRSEAI APE “Institute of educational development”

²FSAEI HE “Immanuel Kant Baltic Federal University”

³FSBSI “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”

Abstract. Materials that, in addition to high protective effectiveness, have a high bactericidal ability, must be selected to protect against corrosion of storage tanks for oil products in the agro-industrial complex. The action of 12 chiral anionic complexes of cobalt (III), 6 of which had a bromine atom in their structure, was studied for this purpose in this work as corrosion inhibitors of carbon steel St3 with a simultaneous assessment of their bactericidal action on sulfate-reducing bacteria (SRB). A water-salt solution Postgate B, which supports the development of anaerobic CRP, was used as a model corrosive medium. Sludge was collected in spring from a natural source for the cultivation of CRP. The maximum number of CRP was observed on the 3 – 4th day of the experiment. The bactericidal ability was assessed according to the bacterial titer, pH of the medium, and the concentration of biogenic hydrogen sulfide. The protective efficiency of St3 steel samples against corrosion was determined by the gravimetric method. The volume of hydrogenation of steel samples was determined by anodic dissolution. It was found that all the compounds under study are bactericides that inhibit the activity of CRP. Compounds of the first series promote a shift in pH towards more alkaline values; compounds with a bromine atom in their structure acidify the medium. It is concluded that the bactericidal effect is primarily determined by a decrease in the number of living microorganisms. Suppression of their ability to produce hydrogen sulfide under the influence of the compounds under study takes place, but to a lesser extent. It was determined that the following compounds most actively suppress bacterial corrosion and hydrogenation in the entire studied concentration range of 1 – 10 mMol / L: sodium, Δ, L-bis- (N-5Br salicylidene valinate cobaltate) sodium, Δ, L-bis- (N-5Br salicylidene leucinate cobaltate) sodium. The maximum protective effect (90 – 93 %) was obtained for the same compounds. The minimum protective effect (46 %) was observed for Δ, L-bis- (N-salicylidenevalinato-cobaltate) sodium at a concentration of 1 mMol / l.

Keywords: storage tanks for oil products, sulfate-reducing bacteria, corrosion inhibitors, bactericides.

Введение. Деятельность сельскохозяйственного предприятия невозможна без горюче-смазочных материалов. Для обеспечения бесперебойной работы техники, особенно в местах, удаленных от стационарных заправочных станций обычно используют специальные резервуары для их хранения. В России в АПК до сих пор широко эксплуатируют резервуары для нефтепродуктов из низколегированных сталей – Ст3, 09Г2С12, недостаточно стойкие к коррозии вообще и бактериологической, в частности. Для поддержания их в работоспособном состоянии необходимы противокоррозионные мероприятия, которые непосредственно влияют на обеспечение надежности их эксплуатации, качество хранимых нефтепродуктов, снижают степень риска аварийности при сливо-наливных операциях и повышают уровень экологической безопасности сельхозпредприятий.

Коррозионные процессы внутри резервуаров инициируются, прежде всего, даже незначительным количеством воды, которая всегда присутствует в топливе в реальных условиях хранения. Вода может появиться, например, благодаря конденсации влаги из-за суточных колебаний атмосферных температур или из-за возникновения капиллярной конденсации на ржавой металлической поверхности резервуара, которая поглощает из воздуха большое количество водяных паров при давлениях ниже давления насыщенного пара в случае заполнения находящихся длительное время незаполненными резервуаров [1]. Углеводороды нефтепродуктов, как правило не стимулируют коррозионное разрушение резервуаров для их хранения. В коррозионных процессах внутри резервуаров обычно участвуют продукты их окисления, серосодержащие соединения, примеси, водяные пары, загрязненные парами нефтепродуктов [1 – 4]. Следует отметить, что процессы окисления нефтепродуктов катализируются ионами железа, которые имеются в ржавчине.

При эксплуатации резервуаров для хранения нефтепродуктов на внутренней поверхности заполненного резервуара наблюдается не только общая (равномерная) коррозия, но и язвенная, вплоть до появления сквозных коррозионных дефектов, которые могут привести к утечке нефтепродуктов. По последним исследованиям [5, 6] появление таких дефектов связывают с деятельностью бактериального характера, потому что жизнедеятельность многих микроорганизмов сопровождается выделением коррозионно активных веществ: сероводорода, аммиака, органических и неорганических кислот и др. Микробиологическая коррозия самодостаточна, как и возможное сопровождение ею других видов коррозии (электрохимической, атмосферной, химической). Максимальное размножение микроорганизмов происходит при температуре 6 – 34 °C и кислотности среды в диапазоне от 1,0 до 10,0 pH в первые 15 – 30 суток хранения нефтепродукта [5].

Согласно результатам исследования, приведенным в работе [6], после 3 – 5 лет эксплуатации резервуаров для хранения нефтепродуктов казематного типа наблюдаются многочисленные коррозионные поражения их днищ. Отмечено при толщине листа 4 – 5 мм появление до 30 – 50 сквозных отверстий и 300 – 500 питтингов и язв.

При хранении нефтепродуктов в резервуарах наибольшую опасность, с точки зрения коррозионных процессов, представляют анаэробные микроорганизмы, условно объединяемые в группу сульфатредуцирующих бактерий (СРБ). Из-за их жизнедеятельности в резервуарах будет накапливаться сероводород и, возможно, ряд других продуктов, стимулирующих коррозионные процессы [7, 8]. При защите от коррозии резервуаров для хранения нефтепродуктов в АПК следует подбирать такие материалы, которые, помимо защитной эффективности будут обладать бактерицидной способностью. В данной работе с этой целью исследованы в присутствии СРБ некоторые о,о'-дигидроксиазосоединения, конкретнее, координационно-насыщенные комплексы Co(III) с двумя лигандами, один из которых - основание Шиффа салицилового альдегида (или 5-Br-салицилового альдегида). Выбор соединений не случаен, так как из литературных данных известно, что продукты конденсации салицилового альдегида [9] являются активными деактиваторами металла.

Объекты и методика исследования. В БФУ им. Канта, г. Калининград под руководством к.х.н. Булычева А.Г. были синтезированы 12 соединений (хиральные анионные координационно-насыщенные комплексы Co(III) с двумя перпендикулярно расположенными триденатными лигандами – основаниями Шиффа салицилового альдегида (5-Br-салицилового альдегида) и (S)-аминокислот: глицина, лейцина, глутамина, гистидина, валина, аспарагина (таблица 1) для исследования. Молекулярные структуры полученных соединений подтвердили методами ИК- и ЯМР- спектроскопии.

Таблица 1 – Исследуемые органические соединения

№ п/п	М, г/моль	Структурная формула	Название
1	432		Δ, L-бис-(N-салицилиденглициinato-кобальтат) натрия
2	492		Δ, L-бис-(N-салицилиденвалиinato-кобальтат) натрия
3	548		Δ, L-бис-(N-салицилиденлейциinato-кобальтат) натрия
4	546		Δ, L-бис-(N-салицилиденаспарогина-токобальтат) натрия
5	580		Δ, L-бис-(N-салицилиденглутамино-кобальтат) натрия
6	596		Δ, L-бис-(N-салицилиденгистидinato-кобальтат) натрия
7	590		Δ, L-бис-(N-5Br – салицилиденглициinato-кобальтат) натрия
8	650		Δ, L-бис-(N-5Br-салицилиденвалиinato-кобальтат) натрия

9	706		Δ, L-бис-(N-5Врсалициденлей-цинатокобальтат) натрия
10	704		Δ, L-бис-(N-5Врсалициденаспа-рогинатокобальтат) натрия
11	738		Δ, L-бис-(N-5Врсалициденглю-таминокобальтат) натрия –
12	754		Δ, L-бис-(N-5Врсалициденгисти-динатонатокобальтат) натрия

Исследования проводили на образцах из стали Ст3 (Состав: Fe – 98,36; C – 0,2; Mn – 0,5; Si – 0,15; P – 0,04; S – 0,05; Cr – 0,3; Ni – 0,2; Cu – 0,2) с площадью поверхности 20 см² в модельной среде, в качестве которой использовали водно-солевой раствор Postgate В, поддерживающий развитие анаэробных СРБ рода *Desulfovibrio desulfuricans*. Для культивирования СРБ отбирали весной ил из ручья «Парковый» в центре г. Калининграда. Накопительную культуру получали проводя многократный пересев в среде Postgate В. Ее род (*Desulfovibrio*) был определен соотношением морфологических признаков. Эксперименты проводили, создавая анаэробные условия. Накопительную культуру СРБ (2 мл) добавляли в стерильную среду в простерилизованных пробирках с хорошо притертыми обезжиренными и простерилизованными пробками, в которых размещали образцы стали для предварительных исследований. Плотно закрытые пробирки помещали на двое суток (столько длится инкубационный период развития СРБ) в термостат при температуре 38 °С. По наблюдаемому почернению водно-солевой среды и стенок пробирок, судили о развитии и активности СРБ.

Затем исследовали свойства синтезированных соединений, добавляя их в микробиологическую среду в пробирках, при этом образцы металла для предварительных исследований заменяли на экспериментальные. Концентрация синтезированных соединений составляла 1, 2, 5 и 10 ммоль/л. Эксперименты проводили циклами по 8 суток, что соответствует полному циклу жизнедеятельности популяции СРБ рода *Desulfovibrio* в ограниченном замкнутом объеме среды. При этом контролировали: бактериальный титр и pH среды, концентрацию

биогенного сероводорода. По окончании экспозиции определяли послойное водородосодержание образцов и защитную эффективность исследуемых соединений.

Бактерицидный эффект соединений оценивали по изменению численности бактерий, используя метод прямого подсчета в счетной камере Горяева), изменению количества выделяемого ими сероводорода (методом обратного йодометрического осадительного титрования), а также по изменению водородного показателя (pH) среды, фиксируемому лабораторным pH-метром МЕТТЛЕР ТОЛЕДО Seven Excellence. Измерения проводили три раза в сутки, ежедневно.

Бактериальный титр контролировали ежесуточно в герметично закрытых пробирках с образцами, помещенных в термостат (310 К) на 200 ч. По окончании экспозиции (200 ч.) определяли скорость коррозии стали гравиметрическим методом, а затем рассчитывали защитный эффект (Z) исследуемых веществ по формуле:

$$Z = (K_0 - K) / K_0 \cdot 100 \%,$$

где K_0 и K – скорости коррозии стали в отсутствии и в присутствии изучаемых ингибиторов коррозии.

Результаты и их обсуждение. Было изучено действие синтезированных соединений на подавление жизнедеятельности СРБ. В контрольной серии образцов наблюдается максимум численности СРБ на 3 – 4 сутки эксперимента (рисунок 1).

1 – контроль; 2 – Соединение 1; 3 – Соединение 2; 4 – Соединение 3; 5 – Соединение 4;
6 – Соединение 5; 7 – Соединение 6; 8 – Соединение 7; 9 – Соединение 8; 10 – Соединение 9;
11 – Соединение 10; 12 – Соединение 11; 13 – Соединение 12

Рисунок 1 – Влияние природы синтезированных соединений на развитие СРБ, $C_{ик}=1$ ммоль/л

Исследования бактериального титра показало, что в среднем, на вторые сутки экспозиции количество клеток СРБ в среде составляет $15,49 \cdot 10^6 \text{ мл}^{-1}$, а на четвертые уже $N = 22 \cdot 10^6 \text{ мл}^{-1}$. К восьмым суткам исследования численность СРБ снижается в среднем до $4,25 \cdot 10^6 \text{ мл}^{-1}$ в присутствии синтезированных соединений и до $11,04 \cdot 10^6 \text{ мл}^{-1}$ - в их отсутствии.

Все синтезированные соединения являются бактерицидами. Было отмечено, что исследуемые хиральные комплексы Co(III) подавляют численность СРБ за все время экспозиции в 3 раза эффективнее, чем это происходит за счет естественного ее спада в контрольной серии почти в три раза. В качестве примера на рисунке 1 можно видеть изменение численности клеток СРБ в присутствии исследуемых соединений в концентрации 1 ммоль/л. Наиболее активно подавляют микроорганизмы соединения 5, 6 в первой серии и соединения 8 и 9 - во второй. В присутствии исследуемых соединений в концентрации 10 ммоль/л наиболее активны соединения 4, 5 и 8, 9, 10, соответственно.

О бактерицидных свойствах можно судить и по изменению pH среды (рисунки 2,3). Его величина зависит от продукта жизнедеятельности СРБ- биогенного сероводорода и форм его существования. Исходное значение pH находится в диапазоне $\text{pH} = 6,9 - 7,7$. За счет жизнедеятельности СРБ, действия синтезированных соединений, накопления продуктов метаболизма СРБ происходит изменение pH среды Postgate B.

Рисунок 2. – Влияние природы и концентрации ИК (соединения 1 – 6, 7 – Контроль) на изменение во времени pH среды.

1 – Соединение 7; 2 – Соединение 8; 3 – Соединение 9; 4 – Соединение 10;
5 – Соединение 11; 6 – Соединение 12; 7 – Контроль

Рисунок 3 – Влияние природы и концентрации ИК на изменение во времени pH среды

Соединения первой серии (1 – 6) способствуют смещению pH в сторону более щелочных значений. В присутствии соединений 1 – 6 значения водородного показателя составляют pH= 7,3 – 8,0, что предполагает активное развитие СРБ. К пятым суткам pH резко изменяется в сторону нейтральных значений, что говорит о меньшем накоплении биогенного сероводорода, сокращении числа молекул СРБ. Исследуемые соединения с атомом брома (соединения 7-12) в структуре смещали значения pH в сторону закисления, что свидетельствует о накоплении биогенного сероводорода. Следует отметить также, что бром, являясь заместителем с отрицательным индуктивным эффектом, увеличивает кислотный характер комплекса и благодаря этой особенности.

На четвертые сутки экспозиции pH среды находится в диапазоне 5,2 – 7,0, который достигается в присутствии соединений 7 – 12. Эту среду уже нельзя назвать благоприятной для активного развития СРБ, хотя она и пока еще пригодна для их существования. Среда с минимальным значением pH, равным 5,2 получали при использовании соединения 9.

По мере накопления биогенного сероводорода - продукта жизнедеятельности СРБ, среда становится благоприятным источником для коррозионных процессов, существует понятие сероводородной коррозии. На рисунке 4 показано, как изменяется концентрация биогенного сероводорода среде «Postgate В» в период жизнедеятельности СРБ. Средняя концентрация сероводорода достигает 133,47 мг/л ко вторым суткам эксперимента. На третьи или четвертые сутки проведения эксперимента, на зависимостях для контрольной экспозиции появляется

небольшой максимум при концентрациях 141 – 153 мг/л, отвечающий за максимальную численность СРБ в данных условиях. Через 4 суток концентрация биогенного сероводорода снижается до 69,7 – 83,3 мг/л из-за снижения количества питательных веществ в среде, необходимых для жизнедеятельности микроорганизмов, к тому же высок уровень токсичных продуктов метаболизма. В результате происходит замедление роста и деления бактерий. Цикл развития СРБ в замкнутой системе заканчивается и к последнему дню проведения эксперимента концентрация биогенного сероводорода становится постоянной.

Рисунок 4 – Влияние природы синтезированных соединений (а, б – соединения 1 – 6, 7 – контроль; в, г – соединения 7 – 12, 13 – контроль) на концентрацию биогенного сероводорода
Концентрация синтезированных соединений: а, в – 1 ммоль/л; б, г – 10 ммоль/л

В случаях проведения эксперимента с синтезированными соединениями во всех случаях происходит резкое снижение концентрации биогенного сероводорода – $C(H_2S)$ к четвертому дню экспериментальной экспозиции.

Таким образом, все полученные результаты свидетельствуют о бактерицидном действии всех исследованных соединений по отношению к СРБ. Введение любого из синтезированных соединений приводит к снижению выработки сероводорода микроорганизмами. При концентрации 10 ммоль/л коэффициент подавления числа клеток СРБ составляет более 50 %, а степень подавления жизнедеятельности СРБ лежит в диапазоне 32 – 42 %. Логично предположить, что прежде всего снижение численности живых микроорганизмов определяет бактерицидный эффект. А действие исследуемых синтезированных соединений на молекулы СРБ, подавляющее продуцирование ими сероводорода стоит на втором месте. В присутствии соединения 4 содержание биогенного сероводорода уменьшилось в 3,57 раз; соединения 5 – в 3,07 раз; соединения 8 – в 2,62 раза; соединения 9 – в 3,37 раза, по сравнению с присутствующей концентрацией сероводорода коррозионной среды в отсутствии исследуемых соединений.

Можно предположить, что синтезированные соединения будут обладать ингибирующим коррозию действием, потому что в их структуре есть гетероатомы (N, O), характеризующиеся высокой электроотрицательностью, и ароматические кольца, содержащие активную π -электронную систему. Наличие последней отвечает за эффективное взаимодействие ингибитора коррозии (ИК) с металлом при физической адсорбции. Входящие в состав ИК остатки различных по строению аминокислот с различными функциональными группами, с разными алкил-, метил-,

ацетил- радикалами, в свою очередь, увеличивают электронную плотность гетероатомов и активных центров. Следует помнить, что более высокая электронная плотность на активном центре молекулы ИК, определяет более сильную и прочную адсорбционную связь между металлом и ингибитором, что обычно приводит к более высокой степени защиты металла от коррозии.

Результаты гравиметрических коррозионных исследований эффективности синтезированных хиральных анионных комплексов Co(III) в роли ингибиторов коррозии (ИК) стали Ст3 в водно-солевом растворе Postgate B (Концентрация ИК 1,2,5, 10 мМоль/л) характеризует таблица 2.

Таблица 2 – Влияние концентрации ИК на его защитную эффективность в среде Postgate B

Хиральные анионные комплексы Co(III)	Защитные свойства при концентрации ИК, мМоль/л							
	1		2		5		10	
	K, г/(м ² ч)	Z, %	K, г/(м ² ч)	Z, %	K, г/(м ² ч)	Z, %	K, г/(м ² ч)	Z, %
1	0,0800	68	0,0675	73	0,0675	73	0,0600	76
2	0,1350	46	0,0925	63	0,0875	65	0,0825	67
3	0,0750	70	0,0525	79	0,0375	85	0,0300	88
4	0,0625	75	0,0350	86	0,0300	88	0,0250	90
5	0,0625	75	0,0375	85	0,0275	89	0,0250	90
6	0,0875	65	0,0675	73	0,0375	85	0,0325	87
7	0,0350	86	0,0350	86	0,0325	87	0,0275	89
8	0,0450	82	0,0375	85	0,0275	89	0,0700	93
9	0,0425	83	0,0375	85	0,0275	89	0,0700	93
10	0,0350	86	0,0325	87	0,0300	88	0,0300	88
11	0,0425	83	0,0426	83	0,0400	84	0,0275	89
12	0,0650	74	0,0600	76	0,0475	81	0,0425	83
Скорость коррозии стали в среде Postgate B 0,25 г/м ² час								

Следует отметить, что при увеличении концентрации исследуемых соединений ожидаемо возрастает их защитный эффект.

У комплексов с салициловым альдегидом – соединений 1 – 6 минимальный защитный эффект наблюдали при концентрации 1 ммоль/л. Для соединения 2 с молекулярной массой 492 г/моль, Z = 46 %. Для этого соединения характерен самый низкий защитный эффект из всех исследованных соединений. Максимальный защитный эффект в этой группе (90 %) обеспечило соединение 5 с молекулярной массой 580 г/моль при концентрации 10 ммоль/л. Эти соединения по защитной эффективности образуют ряд:

$$Z5 \approx Z4 > Z3 > Z6 > Z1 > Z2 \quad (1)$$

Соединения с 5-Вг-салициловым альдегидом являются более эффективными ИК, чем соединения 1 – 6. Соединение 12 с молекулярной массой 754 г/моль в этой группе обладает минимальным защитным эффектом при всех исследованных концентрациях. Максимальным защитным действием (Z = 93 %) при концентрации 10 мМоль/л обладает соединение 8 с молекулярной массой 650 г/моль и соединение 9 (706 г/моль).

Соединения этой группы образуют ряд:

$$Z9 \approx Z8 > Z7 \approx Z11 > Z10 > Z12 \quad \dots\dots\dots(2)$$

Экспериментально это подтверждают данные по изменению бактериального титра при введении в среду исследуемых хиральных комплексов (рисунок 1). Наиболее активны соединения 4 и 5 в первой серии и соединения 8 и 9 – во второй.

Обнаружена значительная корреляция между бактерицидными свойствами исследуемых соединений, их концентрацией, скоростью коррозии стали Ст3 в их присутствии и наводороживанием стали (рисунок 5). Наиболее эффективно защищают от наводороживания соединения 4 и 5 из первой серии исследуемых соединений и 8 и 9 – из бромсодержащих комплексов. Исследование водородных концентрационных профилей показало неравномерность распределения водорода по толщине металла и его скопление в приповерхностных слоях. Максимальное наводороживание образцов наблюдается на глубине 25-30 мкм от входной поверхности.

Рисунок 5 – Зависимость водородосодержания от скорости коррозии (а), их концентрации ИК (б) и количества СРБ в среде PostgateВ (в)

Заключение. Таким образом, все исследуемые соединения являются бактерицидами, угнетающими деятельность сульфатредуцирующих бактерий. Определили, что наиболее активно подавляют бактериальную коррозию и наводороживание стали следующие соединения: Δ , L-бис-(N-салицилиденаспарогина-токобальтат) натрия, Δ , L-бис-(N-салицилиденглутамино-кобальтат) натрия, Δ , L-бис-(N-5Brсалицилиденвали-натокобальтат) натрия, Δ , L-бис-(N-5Brсалицилиденлей-цинатокобальтат) натрия. Для этих же соединений получен максимальный защитный эффект (90-93 %). Следовательно, эти соединения наиболее перспективны для защиты резервуаров для хранения нефтепродуктов в АПК. Минимальный защитный эффект (46 %) наблюдали для Δ , L-бис-(N-салицилиденвалинато-кобальтат) натрия при концентрации 1 мМоль/л.

Список литературы

1. Вигдорович В.И., Романцова С.В., Нагорнов С.А. Окислительные и коррозионные процессы в резервуарах хранения нефтепродуктов // Вестник тамбовского университета. Серия: естественные и технические науки. – Т.1, №1. – С. 3-8.
2. Защита от атмосферной коррозии масляными покрытиями / В.И. Вигдорович, Л.Е. Цыганкова, Н.В. Шель, Л.Г. Князева, А.Н. Зазуля. – Москва: Изд-во «КАРТЭК», 2014. – 232 с.
3. Бионестойкая лакокрасочная система покрытий для внутренних поверхностей стальных резервуаров / Бакирова Е.В., Варагина Т.В., Бушуев В.В., Киселев Н.И., Смирнов В.Ф. // Коррозия территории НЕФТЕГАЗ. – 2009. – № 5. – С. 46-52.
4. Бакирова Е.В., Варагина Т.В., Пичугин Ю.Е., Корольченко И.А., Смирнов В.Ф. Особенности противокоррозионной защиты внутренних поверхностей стальных резервуаров, эксплуатирующихся с авиационным керосином [Электронный ресурс] (Российская Федерация). – URL: https://rosrezerv.gov.ru/Konsultativnij_sovet/Obmen_opitom/Osobennosti_protivokorroziionnoj_zashchity (дата обращения: 03.03.2021).
5. Сухаревиц В. И., Кузикова И. Л., Медведева И. Г. Защита от биоповреждений, вызываемых грибами. – СПб: ЭЛБИ-СПб, 2009.
6. Кац Н.Г., Стариков В.П., Парфенова С.Н. Химическое сопротивление материалов и защита оборудования нефтегазопереработки от коррозии: учеб. пособие. – Москва: Машиностроение, 2011 – 436 с.
7. Влияние сульфатредуцирующих бактерий и ингибиторов-бактерицидов серии "ИНКОРГАЗ" на кинетику парциальных электродных реакций на стали Ст3 и диффузию водорода через мембрану / Есина М.Н., Дубинская Е.В., Чугунов Д.О., Цыганкова Л.Е., Вигдорович В.И. // Практика противокоррозионной защиты. – 2013. – № 1 (67). – С. 38-44.
8. Универсальные ингибиторы сероводородной и углекислой коррозии стали для нефтедобычи серии «Инкоргаз». Теоретические аспекты, практика использования, новое в подходах к оценке эффективности / В.И. Вигдорович, Л.Е. Цыганкова, Н.В. Шель, М.Н. Есина, Л.Г. Князева, А.В. Болдырев, Ю.А. Чирков // Практика противокоррозионной защиты. – 2016. – № 1(79). – С.26–42.
9. Бактерицидная способность ряда смесевых азотсодержащих ингибиторов сероводородной коррозии / Дубинская Е.В., Есина М.Н., Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Зарапина И.В., Осетров А.Ю. // Практика противокоррозионной защиты. – 2013. – № 3 (69). – С. 23-28.
10. Красникова Л.В., Гунькова П.И., Савкина О.А. Общая и пищевая микробиология: учеб. пособие. Часть 2. – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 127 с.

References

1. Vigdorovich V.I., Romancova S.V., Nagornov S.A. Okislitel'nye i korrozionnye processy v rezervuarah hraneniya nefteproduktov // Vestnik tambovskogo universiteta. Seriya: estestvennye i tekhnicheskie nauki. – Т.1, №1. – С. 3-8.
2. Zashchita ot atmosfernoj korrozii maslyanymi pokrytiyami / V.I. Vigdorovich, L.E. Cygankova, N.V. Shel', L.G. Knyazeva, A.N. Zazulya. – Moskva: Izd-vo «KARTEK», 2014. – 232 s.
3. Bionestojkaya lakokrasochnaya sistema pokrytij dlya vnutrennih poverhnostej stal'nyh rezervuarov / Bakirova E.V., Varagina T.V., Bushuev V.V., Kiselev N.I., Smirnov V.F. // Korroziya territorii NEFTEGAZ. – 2009. – № 5. – С. 46-52.
4. Bakirova E.V., Varagina T.V., Pichugin YU.E., Korol'chenko I.A., Smirnov V.F. Osobennosti protivokorroziionnoj zashchity vnutrennih poverhnostej stal'nyh rezervuarov, ekspluatiruyushchihsya s aviacionnym kerosinom [Elektronnyj resurs] (Rossijskaya Federaciya). – URL:

https://rosrezerv.gov.ru/Konsultativnij_sovet/Obmen_opitom/Osobennosti_protivokorrozionnoj_zashhiti (data obrashcheniya: 03.03.2021).

5. Suharevich V. I., Kuzikova I. L., Medvedeva I. G. Zashchita ot biopovrezhdenij, vyzyvaemyh gribami. – SPb: ELBI-SPB, 2009.

6. Кас N.G., Starikov V.P., Parfenova S.N. Himicheskoe soprotivlenie materialov i zashchita oborudovaniya neftegazopererabotki ot korrozii: ucheb. posobie. – Moskva: Mashinostroenie, 2011 – 436 s.

7. Vliyanie sul'fatreduciruyushchih bakterij i ingibitorov-baktericidov serii "INKORGAS" na kinetiku parcial'nyh elektrodnyh reakcij na stali St3 i diffuziyu vodoroda cherez membranu / Esina M.N., Dubinskaya E.V., CHugunov D.O., Cygankova L.E., Vigdorovich V.I. // Praktika protivokorrozionnoj zashchity. – 2013. – № 1 (67). – S. 38-44.

8. Universal'nye ingibitory serovodorodnoj i uglekisloy korrozii stali dlya neftedobychi serii «Inkorgaz». Teoreticheskie aspekty, praktika ispol'zovaniya, novoe v podhodah k ocenke effektivnosti / V.I. Vigdorovich, L.E. Cygankova, N.V. Shel', M.N. Esina, L.G. Knyazeva, A.V. Boldyrev, YU.A. CHirkov // Praktika protivokorrozionnoj zashchity. – 2016. – № 1(79). – S.26–42.

9. Baktericidnaya sposobnost' ryada smesevykh azotsoderzhashchih ingibitorov serovodorodnoj korrozii / Dubinskaya E.V., Esina M.N., Vigdorovich V.I., Cygankova L.E., Zarpina I.V., Osetrov A.YU. // Praktika protivokorrozionnoj zashchity. – 2013. – № 3 (69). – S. 23-28.

10. Krasnikova L.V., Gun'kova P.I., Savkina O.A. Obschchaya i pishchevaya mikrobiologiya: ucheb. posobie. CHast' 2. – SPb.: Universitet ITMO, 2016. – 127 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Зеленцова Вероника Александровна – кандидат химических наук Калининградского областного государственного образовательного автономного учреждения дополнительного профессионального образования «Институт развития образования», Россия, Калининград, e-mail: bepoinka@bk.ru.

Белоглазов Сергей Михайлович – доктор химических наук, профессор Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Балтийский Федеральный университет им. И. Канта». Россия, Калининград.

Князева Лариса Геннадьевна – доктор химических наук, доцент, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: Knyazeva27@mail.ru.

Корнев Алексей Юрьевич – кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab7@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Zelentsova Veronika – Candidate of Chemical Sciences of Kaliningrad regional state educational autonomous institution of additional professional education “Institute of educational development”, Russia, Kaliningrad, e-mail: bepoinka@bk.ru.

Beloglazov Sergey – Doctor of Chemistry, Professor of Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Immanuel Kant Baltic Federal University”, Russia, Kaliningrad.

Knyazeva Larisa – Full Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: Knyazeva27@mail.ru.

Kornev Aleksey – Candidate of Technical Sciences, Deputy Director for Science of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab7@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 16.03.2021 Принята к публикации (Accepted): 16.04.2021