

DOI: 10.15593/2224-9400/2022.1.09

УДК 620.193.81:622.276

**И.А. Дегтярева<sup>1,2</sup>, А.М. Давлетбаев<sup>3</sup>, Д.Т. Миникаев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Татарский научно-исследовательский институт агрохимии и почвоведения – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

<sup>2</sup>ФГБУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

<sup>3</sup>АО «НИИнефтепромхим», Казань, Россия

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ БАКТЕРИЦИДЫ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ БИОКОРРОЗИИ НЕФТЕПРОМЫСЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*Действие биологической коррозии приводит к частому выходу из строя технологического оборудования в нефтедобывающей отрасли, наносит большой урон промышленной безопасности и способствует увеличению техногенной нагрузки на биосферу. Проведено комплексное определение токсикологических характеристик четырех бактерицидов (биопаг, глутаровый альдегид, катамин АБ, формальдегид), применяемых в нефтедобывающей промышленности, по их влиянию на прокариотические (сульфатредуцирующие бактерии) и эукариотические (*Triticum aestivum* L. и *Pisum sativum* L.) организмы. Определено влияние бактерицидов на качественные показатели товарной нефти Баганского месторождения Российской Федерации (РФ). Наиболее эффективным бактерицидом по отношению к сульфатредуцирующим бактериям Бузулукского месторождения Оренбургской области РФ является катамин АБ. Несколько меньшую активность проявляют глутаровый альдегид и формальдегид. У биопага отмечена минимальная бактерицидная активность. При изучении влияния бактерицидов на одно- и двудольные тест-растения (яровая пшеница и горох посевной) установлено, что катамин АБ обладает наибольшей фитотоксичностью. Глутаровый альдегид и формальдегид проявляют сопоставимую фитотоксичность, но несколько меньшую, чем катамин АБ. Биопаг также угнетает развитие *Triticum aestivum* L. и *Pisum sativum* L. Только катамин АБ обладает высокой токсичностью как для прокариотических, так и для эукариотических организмов. Все бактерициды не оказывают влияния на показатели качества товарной нефти. Поэтому по совокупности представленных данных только глутаровый альдегид, катамин АБ и формальдегид можно рекомендовать для создания композиций, препятствующих коррозии оборудования в нефтедобывающей промышленности.*

**Ключевые слова:** нефть, биологическая коррозия, бактерициды, сульфатредуцирующие бактерии, тест-растения.

I.A. Degtyareva<sup>1,2</sup>, A.M. Davletbaev<sup>3</sup>, D.T. Minikaev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tatar Research Institute of Agrochemistry and Soil Science – a separate structural subdivision of the FRC KazSC RAS, Kazan, Russian Federation

<sup>2</sup>Federal State Budgetary Institution of Higher Education "Kazan National Research Technological University", Kazan, Russian Federation

<sup>3</sup>JSC NIIneftpromkhim, Kazan, Russian Federation

## DETERMINING THE OPTIMAL CONCENTRATION OF BACTERICIDES TO SUPPRESS THE GROWTH OF SULFATE-REDUCING BACTERIA

*The action of biological corrosion leads to frequent failure of process equipment in the oil industry, causes great damage to industrial safety and contributes to an increase of the technogenic burden on the biosphere. We had carried out a comprehensive determination of the toxicological characteristics of four bactericides (Biopag, glutaraldehyde, Katamine AB, formaldehyde) used in the oil industry, according to their effect on prokaryotic (sulfate-reducing bacteria) and eukaryotic (*Triticum aestivum* L. and *Pisum sativum* L.) organisms. We had also determined the influence of bactericides on the quality indicators of marketable oil from the Baganskoye field of the Russian Federation (RF). The most effective bactericide in relation to sulfate-reducing bacteria of the Buzulukskoe deposit of the Orenburg region of the Russian Federation is Katamine AB. Somewhat less active are glutaraldehyde and formaldehyde. Biopag has a minimal bactericidal activity. When studying the effect of bactericides on mono- and dicotyledonous test plants (spring wheat and common peas), it was found out that Katamine AB has the highest phytotoxicity. Glutaraldehyde and formaldehyde show comparable phytotoxicity, but somewhat less than Catamine AB. Biopag also inhibits the development of *Triticum aestivum* L. and *Pisum sativum* L. Only Catamine AB is highly toxic to both prokaryotic and eukaryotic organisms. All bactericides do not affect the quality of commercial oil. Therefore, based on the totality of the data presented, only glutaraldehyde, Katamine AB, and formaldehyde can be recommended for creating compositions that prevent corrosion of equipment in the oil industry.*

**Keywords:** oil, biological corrosion, bactericides, sulfate-reducing bacteria, test plants.

В Российской Федерации (РФ) коррозия металлических частей оборудования, использующегося в процессах добычи, сбора, подготовки и транспорта нефти, является основной причиной их разрушения, приводящего к потерям нефти [1, 2]. Преобладают пять механизмов коррозионных процессов, основанных на превалирующем воздействии одного или нескольких коррозионных агентов: сульфидное коррозионное растрескивание под напряжением; локальная карбонатная коррозия; локальная карбонатная коррозия в присутствии сульфидов; карбонатная коррозия в присутствии хлоридов; биологическая коррозия [3]. Дополнительными факторами, повышающими коррозионную агрессивность среды при ее добыче, являются высокие давление и температура [4]. Скважины обвод-

ненностью более 60,0 % с минерализацией не менее 10,0 г/л, содержанием углекислого газа более 40,0 мг/л и концентрацией сульфатредуцирующих бактерий (СРБ) – 1,0 и более кл/мл относятся на нефтепромыслах к фонду скважин, осложненных коррозией [5].

Повреждение материала в результате жизнедеятельности микроорганизмов, многие из которых не идентифицированы, происходит с очень высокой скоростью [6]. Характерной чертой биокоррозии является наличие микроорганизмов в системе металл – вода [7]. Только треть коррозионных процессов вызывают микромицеты, в большинстве случаев (70,0 %) биокоррозия возникает в результате жизнедеятельности различных бактерий, размножающихся на границе фаз нефть – металл – вода [8].

Продуцируемый тионовыми и сульфатредуцирующими бактериями сероводород приводит к износу оборудования [10] и загрязнению воды продуктами коррозии [11]. Отмечено, что в присутствии СРБ скорость коррозии возрастает до 2,2–4,0 раз [12]. Помимо непосредственно микробиологической коррозии присутствие СРБ приводит к растрескиванию металла под давлением [13].

В связи с тем, что сообщество микроорганизмов нефтяных месторождений довольно разнообразно, предложен широкий выбор бактерицидных веществ. В настоящее время их делят на окисляющие, такие как молекулярный хлор, перекиси, неокисляющие, такие как альдегиды, кетоны, а также соединения с иным механизмом бактерицидного действия. Однако наибольшую активность проявляют четвертичные аммонийные соединения [13]. Они применяются в качестве бактерицидов обширного спектра действия, ингибиторов коррозии, компонентов моющих и дезинфицирующих препаратов [9]. В качестве дезинфектанта широко применяются альдегиды, в частности, формалин, который производится отечественной промышленностью. Тем не менее эффективность формалина достаточно низкая, он способствует быстрой адаптации бактерий и их мутациям [14].

Широкое распространение в качестве бактерицида получил глутаровый альдегид, основными достоинствами которого являются щадящее действие на объекты и наличие антимикробной активности в отношении всех видов микроорганизмов за счет алкилирования аминок, карбоксильных и сульфгидрильных групп протеинов и других органических соединений и подавления синтеза последних [16].

Применяются также бактерициды на основе азотсодержащих веществ, при этом наибольшую активность проявляют четвертичные аммонийные соединения [14]. Они применяются в качестве бактерицидов

обширного спектра действия, ингибиторов коррозии, компонентов моющих и дезинфицирующих препаратов [10].

Цель работы – определение токсикологических характеристик бактерицидов, применяемых в нефтедобывающей промышленности.

**Экспериментальная часть.** Объекты исследования: бактерициды – Биопаг; глутаровый альдегид; Катамин АБ; формальдегид; сульфатредуцирующие бактерии Бузулукского месторождения Оренбургской области РФ; пшеница яровая (*Triticum aestivum* L.) сорта Хайят и горох посевной (*Pisum sativum* L.) сорта Ватан; товарная нефть месторождения Баган РФ.

Экспериментальные исследования состояли из нескольких этапов: 1) изучение активности исследуемых бактерицидных веществ на прокариотические организмы (сульфатредуцирующие бактерии); 2) экологотоксикологическое исследование влияния данных веществ на эукариотические организмы (пшеница и горох); 3) определение влияния бактерицидных веществ на содержание хлористых солей в товарной нефти.

Вначале во флаконы с питательной средой Постгейта вносили инокулят двухсуточной накопительной культуры СРБ, которую культивировали при температуре 37 °С, затем вносили водные растворы бактерицидов в концентрациях 0,0025; 0,005 и 0,01 %. Все исследуемые варианты термостатировали при 37 °С в течение 14 сут, отмечая появление черного осадка сульфида железа (II) (FeS). Затем содержимое флаконов переносили в колбы для титрования, в которые предварительно добавляли 20 мл 0,1 Н раствора I<sub>2</sub>. Для более полного извлечения сероводорода и его соединений флаконы обрабатывали 1,0 мл 10 % раствора HCl. Образцы перемешивали в течение 5 мин на магнитном перемешивающем устройстве со скоростью 750 об./мин, после этого титровали раствором 0,1 Н Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> до светло-желтой окраски, затем прибавляли 1 мл 0,5 % крахмала и титровали до обесцвечивания.

Количество сероводорода рассчитывали по формуле

$$X = ((a-b) \cdot 17 \cdot 1000 \cdot N \cdot K) / V, \quad (1)$$

где  $X$  – количество сероводорода и его ассоциатов ( $H_2S + HS^- + S_2O_3^{2-} + SO_3^{2-}$ ) в литре анализируемой жидкости, мг/л;  $a$  – объем тиосульфата натрия, пошедший на титрование питательной среды, не содержащей инокулят и химический реагент (вещество, обладающее бактерицидным действием), мл;  $b$  – объем тиосульфата натрия, пошедший на титрование жидкости из посевных флаконов, мл;  $V$  – объем анализируемой жидкости (аликвота), мл; 17 – эквивалентный вес сероводорода;  $N$  – нормальность тиосульфата натрия;  $K$  – поправочный коэффи-

циент раствора тиосульфата натрия, определяемый как отношение объема раствора йода к объему раствора тиосульфата натрия, израсходованного на титрование раствора йода.

Защитный эффект действия бактерицидов рассчитывается по формуле [17]

$$Z = \frac{C - D}{C} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где  $C$  – среднее содержание сероводорода в контрольных пробах, мг/л;  $D$  – среднее содержание сероводорода в пробах, обработанных бактерицидом, мг/л.

Всхожесть (способность семян образовывать нормально развитые проростки) семян пшеницы яровой (*Triticum aestivum* L.) сорта Хайт и гороха посевного (*Pisum sativum* L.) сорта Ватан определяли по ГОСТ 12038–84 [17].

Уровень фитотоксичности бактерицидов в концентрации 0,05; 0,1; 0,5 % в отношении одно- и двудольных тест-растений ( $F$ , %) рассчитывали по формуле [18]

$$F = \frac{\bar{x}_{\text{контр}} - \bar{x}_{\text{оп}}}{\bar{x}_{\text{контр}}} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

где  $\bar{x}_{\text{контр}}$  – среднее арифметическое длины корней (проростков) в контроле, см;  $\bar{x}_{\text{оп}}$  – среднее арифметическое длины корней (проростков) в опыте, см.

Уровень фитотоксичности ( $F$ ) оценивали по следующим критериям: отсутствует ( $F < 10$  %); очень слабая ( $F = 10 \dots 20$  %); слабая ( $F = 20 \dots 30$  %); средняя ( $F = 30 \dots 50$  %); высокая ( $F = 60 \dots 80$  %); очень высокая ( $F > 80$  %) [19].

Содержание хлористых солей в товарной нефти Баганского месторождения компании «РН – Северная нефть» определяли по ГОСТ Р 51858–2002 «Нефть. Общие технические условия» [20]. В контроле использовалась нефть без добавления бактерицида. Исследуемые вещества добавляли в концентрации 0,05 % (мас.), которая является максимальной дозой бактерицидных веществ, применяемых для периодической обработки нефтепромыслового оборудования.

*Характеристика исследуемых веществ.* Биопаг – производное гуанидина, в основном используемого в качестве биоцидного дезинфектанта, хорошо растворим в воде. Проявляет свойства фунгицида и бак-

терицида (антибиотика), активен в отношении грамотрицательных и грамположительных бактерий. Это вещество имеет моющие, антикоррозионные и флокулирующие свойства и эффективно против биопленок. *Глутаровый альдегид* представляет собой однородную прозрачную жидкость желтого цвета с резким запахом, токсичен. Обладает высокой бактерицидной и спороцидной активностью. *Катамин АБ* – смесь алкилдиметилбензиламмоний хлоридов, где алкил – смесь нормальных алкильных радикалов  $C_{10}$ - $C_{18}$  или  $C_{12}$ - $C_{14}$ . Данный препарат является моющедезинфицирующей и обеззараживающей нехлорсодержащей композицией четвертичных аммонийных солей, относится к группе катионных поверхностно-активных веществ, в концентрированном виде имеет вид вязкой жидкости со слабым специфическим запахом моющего средства с неограниченной растворимостью в воде. *Формальдегид* – бесцветный газ с резким запахом, хорошо растворим в воде, спиртах и полярных растворителях, раздражитель, контаминант, канцероген, токсичен.

Бузулукское месторождение расположено в пределах Бузулукского лицензионного участка Оренбургской области. По величине запасов относится к средним. В настоящее время наблюдается высокая обводненность флюида.

Все параметры измеряли в трехкратной повторности. Статистическую обработку результатов осуществляли с помощью электронных таблиц Excel. Достоверность полученных результатов оценивали с использованием критерия Стьюдента ( $p < 0,05$ ).

**Результаты и их обсуждение.** Результаты исследования бактерицидных свойств препаратов в отношении сульфатредуцирующих бактерий представлены в таблице. Дистиллированная вода, используемая как растворитель для получения растворов бактерицидных веществ, рассмотрена в связи с тем, что СРБ являются строгими анаэробами и кислород на них оказывает токсичное воздействие. Установлено, что содержание кислорода в дистиллированной воде не является летальным для СРБ. Сама вода не обладает бактерицидными свойствами относительно планктонных форм СРБ.

Необходимо отметить, что ранее на Бузулукском месторождении использовали только глутаровый альдегид. Именно он полностью подавляет развитие СРБ в концентрации 0,01 %. По-видимому, микробиота приобрела к нему резистентность.

Наличие осадка в образце с формальдегидом в самой малой концентрации (0,0025 %) можно объяснить тем, что он относится к одному

классу веществ с глутаровым альдегидом. По-видимому, это является причиной более низкой устойчивости к нему СРБ.

### Влияние бактерицидов на сульфатредуцирующие бактерии

Бактерицид	Концентрация, %	Защитный эффект, %
Контроль (дистиллированная вода)	10,0	0
Биопаг	0,0025	13,0
	0,005	31,0
	0,01	59,0
Глутаровый альдегид	0,0025	23,0
	0,005	47,0
	0,01	100,0
Катамин АБ	0,0025	100,0
	0,005	100,0
	0,01	100,0
Формальдегид	0,0025	43,0
	0,005	100,0
	0,01	100,0

Биопаг не подавляет жизнедеятельность СРБ, об этом свидетельствует наличие осадка в среде. Бактерицидные свойства биопага не достаточны для применения его в качестве препарата для борьбы с биокоррозией.

Катамин АБ полностью подавляет рост сульфатредуцирующих бактерий. Данный факт свидетельствует о том, что четвертичные соли аммония являются наиболее эффективными биоцидами для уменьшения биокоррозии.

Итак, наиболее эффективным бактерицидом по отношению к СРБ является катамин АБ. Несколько меньшую активность проявляют глутаровый альдегид и формальдегид.

Следующим этапом стало изучение фитотоксичности бактерицидов в отношении тест-растений. При исследовании влияния биопага на процесс прорастания семян яровой пшеницы уровень фитотоксичности составляет 18,3 % при концентрации 0,05 % и возрастает до 76,0 % при дозе 0,5 %. Это свидетельствует о негативном влиянии биопага на всхожесть *T. aestivum* L.

Глутаровый альдегид обладает ярко выраженной фитотоксичностью в концентрации 0,05 %. Длина проростков пшеницы по сравнению с контролем уменьшается в 4,2 раза и составляет 1,8 см. Количество проросших семян составляет 64,0 %. При увеличении концентрации глутарового альдегида до 0,1 % длина проростков составляет 1,1 см, количество проросших семян уменьшается почти в 2 раза (36,0 %).

Катамин АБ в концентрации 0,05 % практически не влияет на прорастание семян однодольного тест-растения; всхожесть составляет 93,0 %. Однако длина проростка снижается в 2 раза. Процесс прорастания семян полностью подавлен при концентрации катамина АБ 0,5 %.

При использовании формальдегида в концентрации 0,05 % длина проростка пшеницы уменьшается в 3 раза по сравнению с контролем, при всхожести 85,0 %. Увеличение концентрации формальдегида до 0,1 % приводит к снижению количества проросших семян до 35,0 %. Длина проростка *T. aestivum* L. при концентрации формальдегида 0,1 % составляет 0,9 см, а при дозе 0,05 % – 2,0 см.

В опытах с использованием двудольного растения при исследовании влияния биопага в концентрации 0,5 % на процесс прорастания семян гороха посевного, всхожесть составляет 69,0 % при уровне фитотоксичности 79,0 %. При уменьшении концентрации до 0,1 % всхожесть составляет 91,0 %. При использовании биопага в концентрации 0,05 % отмечена 100,0 % всхожесть, однако длина проростка уменьшается в 2 раза по сравнению с контролем – до 2,2 см.

При использовании глутарового альдегида в концентрации 0,05 % всхожесть составляет 98,0 %, а уровень фитотоксичности – 80,0 %, при увеличении концентрации до 0,5 % фитотоксичность возрастает до 93,0 %, а всхожесть уменьшается до 69,0 %.

Применение катамина АБ в концентрации 0,05 % всхожесть составляет 69,0 %, а уровень фитотоксичности – 93,0 %. При увеличении концентрации этого соединения до 0,1 % отмечена очень низкая всхожесть (11,0 %), а фитотоксичность достигает 98,0 %. В концентрации 0,5 % катамин АБ полностью подавляет прорастание гороха.

Концентрации формальдегида 0,05 и 0,1 % не влияют на всхожесть семян гороха, однако уровень фитотоксичности составляет 83,0 и 87,0 %, соответственно. При увеличении концентрации этого соединения 0,5 % процесс прорастания полностью подавляется.

Определено влияние бактерицидов на содержание хлористых солей в товарной нефти. Содержание хлористых солей в контрольном

образце нефти составляет 67,0 мг/дм<sup>3</sup>. Добавление исследуемых веществ в концентрации 0,05 % (мас.) приводит к незначительному повышению содержания хлористых солей до 68,0–71,0 мг/дм<sup>3</sup> (катамин АБ, глутаровый альдегид, формальдегид) или незначительному снижению до 65,0 мг/дм<sup>3</sup> (биопаг).

При изучении свойств товарной нефти установлено, что все четыре бактерицида не оказывают влияния на ее качество (содержание хлористых солей в образцах не превышает 100 мг/дм<sup>3</sup>).

Повышенное значение хлористых солей связано с природой изучаемых препаратов. Однако в связи с высокой эффективностью бактерицидов этот негативный эффект может быть компенсирован их низкой концентрацией.

**Заключение.** Действие биологической коррозии приводит к частому выходу из строя технологического оборудования в нефтедобывающей отрасли, наносит большой урон промышленной безопасности и способствует увеличению техногенной нагрузки на биосферу. Установлено, что наиболее эффективным бактерицидом по отношению к сульфатредуцирующим бактериям Бузулукского месторождения РФ является катамин АБ. Несколько меньшую активность проявляют глутаровый альдегид и формальдегид. У биопага отмечена минимальная бактерицидная активность.

При изучении влияния бактерицидов на одно- и двудольные тест-растения (яровая пшеница и горох посевной) установлено, что катамин АБ обладает наибольшей фитотоксичностью. Глутаровый альдегид и формальдегид проявляют сопоставимую фитотоксичность, но несколько меньшую, чем катамин АБ. Биопаг обладает меньшим токсическим воздействием на *Triticum aestivum* L. и *Pisum sativum* L.

По совокупности представленных данных глутаровый альдегид, катамин АБ и формальдегид рекомендованы для создания композиций, препятствующих коррозии оборудования в нефтедобывающей промышленности.

### Список литературы

1. Гатилова А.А. Подавление микробиологической коррозии в металлических конструкциях // Наука молодых – будущее России. – Курск, 2019. – С. 77–78.
2. Ивановский В.Н. Мониторинг скорости коррозии: преимущества и детали // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2016. – № 2. – С. 71.

3. Интаева К.В., Борисенкова Е.А. Классификация механизмов коррозионного разрушения // *Инновации, качество и сервис в технике и технологиях*. – Курск, 2018. – С. 184–188.

4. Насибуллина О.А. Ингибиторная защита от коррозии в нефтяной промышленности // *Нефтегазовое дело*. – 2019. – Т. 17, № 1. – С. 120–123.

5. Шавалеева А.В., Коротков Ю.Г., Дремина Л.И. Ингибиторная защита установок электроцентробежных насосов в условиях осложненных отложениями солей и коррозией // *Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования*. – 2019. – Т. 1. – С. 272–277.

6. Слепцов Д.Д. Понятие о биокоррозии в трубопроводах // *Студенческая наука: современные реалии*. – Чебоксары, 2019. – С. 60–62.

7. Полякова А.В. Изучение процессов биокоррозии металлов // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. – 2016. – № 11. – С. 22–28.

8. Мавлоний М.Э., Нурманов С.Э. Изучение причин биокоррозий нефтепромысловых трубопроводов в Узбекистане // *Естественные науки и медицина: теория и практика*. – Новосибирск, 2019. – С. 5–9.

9. Латыпов О.Р., Лаптев А.Б., Бугай Д.Е. Перспективы использования физических и химических методов для подавления жизнедеятельности сульфатвосстанавливающих бактерий // *Коррозия металлов, предупреждение и защита: материалы конф. в рамках инновационно-промышленного форума «ПРОМЭКСПО–2006»*. – Уфа, 2006. – С. 119.

10. Латыпов В.Ф. Развитие методов повышения стойкости магистральных нефтепроводов к биокоррозии // *Современные научные исследования и разработки*. – 2019. – № 1. – С. 630–632.

11. Юдаш С.Г. Анализ причин отказов трубопроводов, транспортирующих серосодержащие нефтегазовые среды // *Интеллект. Инновации. Инвестиции*. – 2017. – № 2. – С. 70–77.

12. Яркеева Н.Р., Насыров Э.А., Газизова Э.Р. К вопросу о микробиологической коррозии на месторождениях Западной Сибири // *Проблемы сбора, подготовки транспорта нефти и нефтепродуктов*. – 2019. – № 3. – С. 89–94.

13. Мухамадеева Г.Р., Левашова В.И., Черезова Е.Н. Исследование моно-*n*-бензилдиэтилендиаминоаммоний хлорида в качестве ингибитора биокоррозии // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2016. – Т. 19, № 4. – С. 27–29.

14. Грибанькова А.А., Агиевич М.А., Мазова О.В. Коррозия стали под действием СРБ и *Escherichia coli* и ее подавление органическими веществами // *Перспективы науки*. – 2016. – № 8. – С. 7–10.

15. Арсланова Л.З. Микробиологические технологии по предотвращению образования солей в системе сбора продукции скважин // *Сборник научных трудов 43-й Международной научно-технической конференции молодых*

ученых, аспирантов и студентов, посвященной 60-летию филиала УГНТУ в г. Октябрьском. – Уфа, 2016. – С. 29–32.

16. Порядок применения химических реагентов на объектах добычи углеводородного сырья компании ОАО «Роснефть» № П1-01.05 Р-0339. – М., 2017. – 38 с.

17. ГОСТ 12038–84. Методы определения всхожести. – М.: Госстандарт России, 2011. – 64 с.

18. Галицкая П.Ю., Селивановская С.Ю., Гумерова Р.Х. Тестирование отходов, почв, материалов с использованием живых систем: учеб.-метод. пособие. – Казань, 2014. – 57 с.

19. Блинова З.П. Биотестирование почвенного покрова городских территорий с использованием проростков *Raphanus sativus* // Вестник МГОУ. Естественные науки. – 2014. – № 1. – С. 18–23.

20. ГОСТ Р 51858–2002. Нефть. Общие технические условия. – М.: Госстандарт России, 2002. – 13 с.

## References

1. Gatilova A.A. Podavlenie mikrobiologicheskoi korrozii v metallicheskih konstruktsiyakh [Suppression of microbiological corrosion in metal structures]. *Nauka molodykh – budushchee Rossii*, 2019, pp. 77-78.

2. Ivanovskii V.N. Monitoring skorosti korrozii: preimushchestva i detali [Corrosion Rate Monitoring: Benefits and Details]. *Territoriya «NEFTEGAZ»*, 2016, no. 2, p. 71.

3. Intaeva K.V., Borisenkova E.A. Klassifikatsiya mekhanizmov korrozionnogo razrusheniya [Classification of corrosion failure mechanisms]. *Innovatsii, kachestvo i servis v tekhnike i tekhnologiyakh*, 2018, pp. 184-188.

4. Nasibullina O.A. Ingibitornaya zashchita ot korrozii v neftyanoi promyshlennosti [Corrosion inhibitor protection in the oil industry]. *Neftegazovoe delo*, 2019, vol. 17, no.1, pp. 120-123.

5. Shavaleeva A.V., Korotkov Yu.G., Dremina L.I. Ingibitornaya zashchita ustanovok elektrotsentrobezhnykh nasosov v usloviyakh oslozhnennykh otlozheniyami solei i korroziei [Inhibitor protection of electric centrifugal pump installations in conditions complicated by salt deposits and corrosion]. *Aktual'nye problemy povysheniya effektivnosti i bezopasnosti ekspluatatsii gornoshakhtnogo i neftepromyslovogo oborudovaniya*, 2019, vol. 1, pp. 272-277.

6. Sleptsov D.D. Ponyatie o biokorrozii v truboprovodakh [The concept of biocorrosion in pipelines]. *Studencheskaya nauka: sovremennye realii*, 2019, pp. 60-62.

7. Polyakova A.V. Izuchenie protsessov biokorrozii metallov [Study of the processes of biocorrosion of metals] *Vse materialy. Entsiklopedicheskii spravochnik*, 2016, no. 11, pp. 22-28.

8. Mavolonii M.E., Nurmanov S.E. Izuchenie prichin biokorrozii neftepromyslovykh truboprovodov v Uzbekistane [Study of the causes of biocorrosion of oilfield pipelines in Uzbekistan]. *Estestvennyye nauki i meditsina: teoriya i praktika*, 2019, pp. 5-9.

9. Latypov O.R., Laptev A.B., Bugai D.E. Perspektivy ispol'zovaniya fizicheskikh i khimicheskikh metodov dlya podavleniya zhiznedeyatel'nosti sul'fatvosstanavlivayushchikh bakterii [Prospects for the use of physical and chemical methods to suppress the vital activity of sulfate-reducing bacteria]. *Korroziya metallov, preduprezhdenie i zashchita: mater. konf. v ramkakh innovatsionno-promyshlennogo foruma «PROMEKSPO-2006»*. Ufa, 2006, p. 119.

10. Latypov V.F. Razvitie metodov povysheniya stoikosti magistral'nykh nefteprovodov k biokorrozii [Development of methods for increasing the resistance of main oil pipelines to biocorrosion]. *Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i razrabotki*, 2019, no. 1, pp. 630-632.

11. Yudash, S.G. Analiz prichin otkazov truboprovodov, transportiruyushchikh serosoderzhashchie neftegazovyye sredy [Analysis of the causes of failures of pipelines transporting sulfur-containing oil and gas media]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii*, 2017, no. 2, pp. 70-77.

12. Yarkееva N.R., Nasyrov E.A., Gazizova E.R. K voprosu o mikrobiologicheskoi korrozii na mestorozhdeniyakh Zapadnoi Sibiri [On the issue of microbiological corrosion in the fields of Western Siberia]. *Nauchno-tekhnicheskii zhurnal «Problemy sbora, podgotovki transporta nefi i nefteproduktov»*, 2019, no. 3, pp. 89-94.

13. Mukhamadeeva G.R., Levashova V.I., Cherezova E.N. Issledovanie mono-n-benzildietilendiammonii khlorida v kachestve ingibitora biokorrozii [Study of mono-n-benzyl-diethylenediammonium chloride as a biocorrosion inhibitor]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2016, vol. 19, no. 4, pp. 27-29.

14. Griban'kova A.A., Agievich M.A., Mazova O.V. Korroziya stali pod deistviem SRB i *Escherichia coli* i ee podavlenie organicheskimi veshchestvami [Corrosion of steel by CRP and *Escherichia coli* and its suppression by organic substances]. *Perspektivy nauki*, 2016, no. 8, pp. 7-10.

15. Arslanova, L.Z. Mikrobiologicheskie tekhnologii po predotvrashcheniyu obrazovaniya soley v sisteme sbora produktsii skvazhin [Microbiological technologies to prevent the formation of salts in the collection system of well products]. *Sbornik nauchnykh trudov 43-i Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov i studentov, posvyashchennoi 60-letiyu filiala UGNTU v g. Oktyabr'skom*, 2016, pp. 29-32.

16. Poryadok primeneniya khimicheskikh reagentov na ob'ektakh dobychi uglevodorodnogo syr'ya kompanii OAO «Rosneft'» № P1-01.05 R-0339 [The procedure for the use of chemical reagents at the facilities for the production of hydro-

carbon raw materials of the company JSC "Rosneft" No. P1-01.05 R-0339]. Moscow, 2017, p. 38.

17. GOST 12038-84. Metody opredeleniya vskhozhesti [Germination methods]. Moscow, Gosstandart Rossii, 2011, 64 p.

18. Galitskaya P.Yu., Selivanovskaya S.Yu., Gumerova R.Kh. Testirovanie otkhodov, pochv, materialov s ispol'zovaniem zhivyykh sistem: ucheb.-metod. posobie [Testing of wastes, soils, materials using living systems: tutorial.-method. allowance]. Kazan', Kazanskii universitet, 2014, 57 p.

19. Blinova Z.P. Biotestirovanie pochvennogo pokrova gorodskikh territorii s ispol'zovaniem prorstkov *Raphanus sativus* [Biotesting of the soil cover of urban areas using seedlings of *Raphanus sativus*]. *Vestnik MGOU. Seriya «Estestvennyye nauki»*, 2014, no. 1, pp. 18-23.

20. GOST R. 51858-2002. Neft'. Obshchie tekhnicheskie usloviya [GOST R. 51858-2002. Oil. General specifications]. Moscow, Gosstandart Rossii, 2002, 13 p.

### **Об авторах**

**Дегтярева Ирина Александровна** (Казань, Россия) – доктор биологических наук, доцент, главный научный сотрудник Татарского НИИАХП – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН (420059, г. Казань, Оренбургский тракт 20а; e-mail: peace-1963@mail.ru); профессор Казанского национального исследовательского технологического университета.

**Давлетбаев Арслан Маратович** (Казань, Россия) – ведущий научный сотрудник испытательной лаборатории АО «НИИнефтепромхим» (420061, г. Казань, Н. Ершова, 29; e-mail: dawletbaew2015@yandex.ru).

**Миникаев Данис Тимурович** (Казань, Россия) – младший научный сотрудник Татарского НИИАХП – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН (420059, г. Казань, Оренбургский тракт, 20а; e-mail: danis\_minickaew@mail.ru).

### **About the authors**

**Irina A. Degtyareva** (Kazan, Russian Federation) – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Chief Researcher of the Tatar Scientific Research Institute of Chemical Industry, a separate structural subdivision of the FRC KazSC RAS (20a, Orenburg tract, Kazan, 420059; e-mail: peace-1963@mail.ru); Professor Kazan National Research Technological University.

**Arslan M. Davletbaev** (Kazan, Russian Federation) – Leading Researcher of the testing laboratory of JSC NIIneftpromkhim (29, N. Ershova, Kazan, 420061; e-mail: dawletbaew2015@yandex.ru).

**Danis T. Minikaev** (Kazan, Russian Federation) – Junior Researcher of the Tatar Scientific Research Institute of Chemical Industry, a separate structural subdivision of the FRC KazSC RAS (20a, Orenburg tract, Kazan, 420059; e-mail: danis\_minickaew@mail.ru).

Поступила: 26.01.2022

Одобрена: 02.02.2022

Принята к публикации: 15.03.2022

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках Государственного задания № FMEG-2021-0003, регистрационный номер 121021600147-1.

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

**Вклад авторов** равноценен.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Дегтярева И.А., Давлетбаев А.М., Миникаев Д.Т. Перспективные бактерициды для предотвращения биокоррозии нефтепромыслового оборудования // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. – 2022. – № 1. – С. 121–134.

Please cite this article in English as:

Degtyareva I.A., Davletbaev A.M., Minikaev D.T. Determining the Optimal Concentration of Bactericides to Suppress the Growth of Sulfate-Reducing Bacteria. *Bulletin of PNRPU. Chemical Technology and Biotechnology*, 2022, no. 1, pp. 121-134 (*In Russ*).