

Б. Н. ДРИКЕР
А. А. ПРОТАЗАНОВ
Д. А. СИТНИКОВ

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ СПОСОБ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

AN ALTERNATIVE WAY TO PREVENT MINERAL DEPOSITS

Представлены результаты исследования магниевого комплексоната нитрилотриметиленфосфоновой (НТФ) кислоты в качестве инновационного ингибитора минеральных отложений, образующихся в водных системах, с целью повышения эффективности умягчения воды по сравнению с традиционными методами. Эксперименты с модельным раствором, воспроизводящим состав воды с месторождений дочерних обществ ПАО НК «Роснефть», показали, что НТФ-Mg обеспечивает значительное ингибирование солеотложений, снижая их образование в 6–80 раз при концентрациях реагента от 0,5 до 1,75 мг/л. Установлено, что при концентрации 1,25 мг/л количество отложений остается стабильным по сравнению с концентрацией 1,75 мг/л, что указывает на независимость механизма образования отложений от концентрации ингибитора в этом диапазоне. Внедрение данной технологии позволяет снизить капитальные и эксплуатационные затраты на очистку сточных вод, предлагая эффективное решение для водоснабжения и водоочистки.

Ключевые слова: водные системы, ингибиторы солеотложений, органофосфонаты, водоснабжение, управление осадкообразованием

This study presents the results of testing magnesium nitrilotris(methylenephosphonate) (NTF-Mg) as an innovative inhibitor of mineral scale formation in water systems, aiming to improve water softening efficiency compared to traditional methods. Experiments using a model solution replicating the water composition from the deposits of Rosneft subsidiaries demonstrated that NTF-Mg significantly inhibits scale formation, reducing deposits by 6–80 times at reagent concentrations of 0.5 to 1.75 mg/L. It was found that at a concentration of 1.25 mg/L, the deposit levels remained stable compared to 1.75 mg/L, indicating that the scale formation mechanism is independent of inhibitor concentration within this range. The implementation of this technology offers a cost-effective solution for water supply and treatment by reducing both capital and operational expenses associated with wastewater treatment.

Keywords: water systems, scale inhibition, organophosphonates, water supply, scale formation management

Образование минеральных отложений, таких как карбонаты, сульфаты, представляет собой серьезную проблему для промышленности, включая химическую, металлургическую, энергетическую и нефтегазовую отрасли, так как приводит к снижению производительности, повышению эксплуатационных расходов и сокращению срока службы оборудования [1–5]. В частности, в нефтегазовой и нефтехимической промышленности эта проблема проявляется в реакторах и трубопроводах, где кристаллизация растворенных солей может не только ухудшать технологические параметры, но и провоцировать ускоренную коррозию оборудования, увеличивая риск аварийных ситуаций.

На сегодняшний день эффективным решением для предотвращения образования отложений является использование химических

реагентов – ингибиторов кристаллизации [6–9], которые снижают скорость образования минеральных фаз, препятствуя зарастанию трубопроводов и агрегатов. По сравнению с традиционным методом умягчения воды с использованием Na-катионовых фильтров, применение ингибиторов, таких как НТФ-Mg, является более гибким и экономически обоснованным подходом, способным обеспечить длительное действие при низких концентрациях (1–5 мг/л) и минимизировать вредное воздействие на окружающую среду.

Настоящее исследование направлено на изучение ингибитора НТФ-Mg для предотвращения солеотложений в условиях эксплуатации ПАО НК «Роснефть». Ожидается, что предложенный реагент продемонстрирует высокую эффективность и позволит заменить менее экономичные методы умягчения воды, что обеспечит сниже-

ние эксплуатационных затрат и уменьшение экологического следа. Экспериментальные данные позволят уточнить механизм действия Mg-НТФ и его влияние на кристаллизацию, что может открыть новые перспективы для улучшения водоочистных технологий в промышленности.

Станция подготовки воды, разработанная и внедренная в технологические процессы компанией ООО «Бантер Групп» на месторождении «Х» ПАО НК «Роснефть» для обеспечения воды хозяйственно-питьевого назначения, предназначена для комплексной очистки воды от различных загрязнений.

Станция обеспечивает очистку воды по заявленным показателям до требований СанПиН 1.2.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий».

Технические характеристики установки подготовки воды хозяйственно-питьевого водоснабжения приведены в табл. 1.

Некоторые характеристики исходной воды представлены в табл. 2.

По технологии, разработанной ООО «Бантер Групп», осветленная сточная вода после прохождения через осветлительные фильтры направляется на дальнейшее умягчение с использованием Na-катионового фильтра (рис. 1).

Технологический процесс включает в себя следующие этапы:

1. **Фаза фильтрации воды** – в этот период Na-катионовый фильтр удаляет из воды жесткие соли, что снижает общую жесткость воды и обеспечивает требуемые параметры качества.

2. **Взрыхляющая промывка фильтра** – этот этап позволяет очистить фильтрующий материал от накопленных отложений, улучшая проходимость фильтра и поддерживая эффективность фильтрации.

3. **Введение регенерационного раствора** – на данном этапе в фильтр подается раствор соли для восстановления обменной емкости Na-катионита, что позволяет поддерживать оптимальные рабочие характеристики фильтра.

4. **Удаление отработанного регенерационного раствора** – использованный раствор сливается из фильтра, обеспечивая его готовность к следующему циклу фильтрации.

Таблица 1. Технические характеристики установки
Table 1. Technical specifications of the installation

Показатель	Ед. изм.	Характеристика
Производительность	м³/ч	3
Номинальная производительность	м³/сут	50
Максимальная производительность	м³/сут	70
Напор на выходе из УППВ, не менее	МПа	0,4
Температура воды на входе в УППВ	°С	+2...+17
Источник воды	Поверхностный	
Режим подачи воды на УППВ	Самотечный	
Расположение оборудования	На открытой площадке	
Режим работы	Непрерывный, круглосуточный, без постоянного присутствия обслуживающего персонала	

Таблица 2. Состав исходной воды
Table 2. Source water composition

Загрязняющие вещества	Исходная вода, поступающая на УППВ
Водородный показатель, единицы pH	5,6
Общая жесткость, мг-экв/л	11
Сульфаты, мг/л	8
Хлориды, мг/л	300
Гидрокарбонаты, мг/л	250

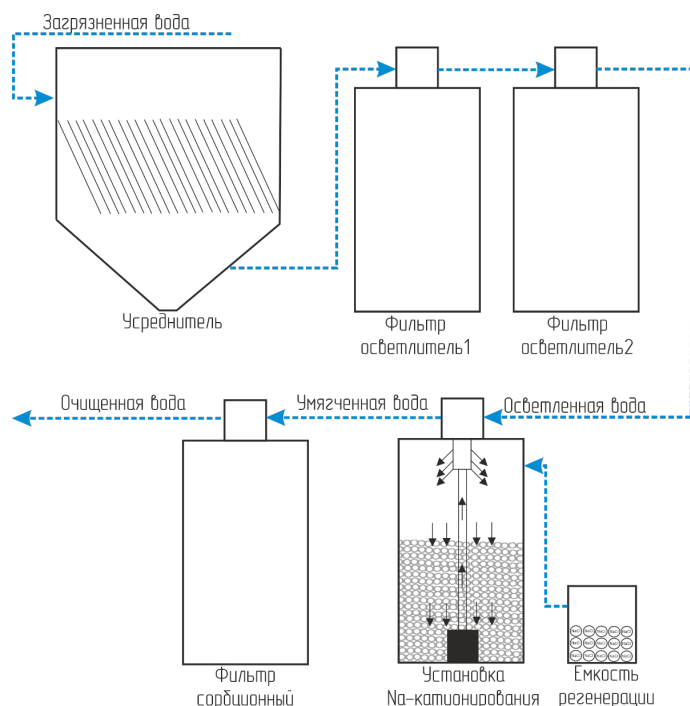


Рис. 1. Принципиальная схема очистки сточной воды с ионообменным аппаратом
Fig. 1. Schematic diagram of wastewater treatment with an ion exchange unit

5. Окончательная промывка фильтра – завершающий этап, на котором фильтр очищается от остатков регенерационного раствора, что подготавливает его к повторной работе.

Технология обеспечивает непрерывное поддержание обменной емкости Na-катионита за счет циклической регенерации, что позволяет поддерживать стабильное качество умягченной воды и предотвратить накопление отложений в системе.

Операция взрыхляющей промывки применяется с целью устранить уплотнение слежавшейся массы ионита и тем самым обеспечить более свободный доступ регенерационного раствора к зернам ионита. При этом осуществляется удаление из фильтра накапливающихся в слое ионита мелких частиц, вносимых недостаточно осветленной умягчаемой водой и раствором реагентов, а также образующихся вследствие постепенного разрушения ионита в процессе эксплуатации фильтра. По окончании операции взрыхления в ионитовый фильтр пропускают регенерационный раствор хлорида натрия в концентрации 120–200 г/л, который проходит сверху вниз сквозь слой ионита. Ионы натрия из раствора обмениваются на ионы магния и кальция, накопленные в смоле, и, таким образом, ее ионообменная способность восстанавливается.

По окончании регенерации катионита осуществляется отмывка катионита от регенерирующего раствора и продуктов регенерации,

оставшихся в жидкости, заполняющей поры между зернами катионита. Отмывка производится умягченной водой и заканчивается, когда концентрация хлоридов превышает содержание их в умягчаемой воде не более чем на 30–50 мг/л. После окончания отмывки фильтр включается в работу по умягчению воды.

В условиях эксплуатации контроль за работой катионитных фильтров производится путем периодического отбора проб воды до и после умягчения и анализа их на щелочность, общую жесткость и хлориды. Задача контроля заключается в том, чтобы не допустить ухудшения качества умягченной воды против заданных норм и предотвратить проскок катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} путем своевременного вывода фильтра на регенерацию.

Согласно санитарным нормам (СанПиН 1.2.3684-21), очищенные сточные воды могут использоваться для различных нужд, включая эксплуатацию производственных и общественных объектов, а также проведение санитарных и противоэпидемических мероприятий. Однако в условиях, указанных в табл. 3, качество этой воды может способствовать образованию минеральных отложений в трубопроводах. Как альтернативный метод предотвращения образования отложений предлагается применять реагентную обработку воды с использованием ингибитора солеотложений НТФ-Мг.

В лабораторных условиях был приготовлен модельный раствор, имитирующий состав,

приведённый в табл. 2. Исследования стабилизационной обработки воды проводились в динамических условиях при температуре 70 °С (табл. 3) на установке (рис. 2), предназначенной для определения образовавшихся отложений [10]. Количество отложений было определено путем растворения на внутренней поверхности теплообменника отложений, образовавшихся в результате эксперимента, с использованием 0,1н раствора соляной кислоты, и подсчета количества образовавшегося карбоната кальция с применением стандартного комплексонометрического метода. Время экспозиции для каждого эксперимента составляло 60 мин. Для оценки величины погрешности использовали методы математической статистики (число выполненных определений – три).

Из данных, представленных в табл. 3, видно, что использование реагента НТФ-Mg позволяет снизить интенсивность образования отложений в 6–80 раз при концентрации реагента 0,5–1,75 мг/л. Стоит отметить, что при концентрации 1,25 мг/л количество отложений идентично тому, что наблюдалось при концентрации 1,75 мг/л. Это позволяет предположить, что в данном диапазоне концентраций механизм образования отложений не зависит от концентрации ингибитора. Принципиальная схема очистки

сточной воды с применением ингибитора солеотложений представлен на рис. 3.

Технология применения ингибиторов солеотложений представляет собой эффективное решение для сокращения капитальных и эксплуатационных затрат на очистку сточных вод (см. рис. 3). Традиционные методы, основанные на регенерации ионообменных смол, требуют значительных объемов химических реагентов, таких как соль (NaCl), щелочи и кислоты. Это не только увеличивает затраты на материалы, но и создает необходимость в хранении и транспортировке этих реагентов, что может быть особенно неудобно и экономически обременительно для небольших объектов.

Кроме того, использование соли в процессе регенерации может иметь негативные последствия для окружающей среды. Неконтролируемое попадание хлористого натрия в почву или водоемы может привести к загрязнению и нарушению экосистем. Также следует учитывать, что регенерация смолы приводит к образованию концентрированного раствора солей кальция и магния, который требует утилизации или дополнительной обработки. Это создает дополнительную нагрузку на систему водоотведения и может потребовать дополнительных затрат на утилизацию сточных вод.

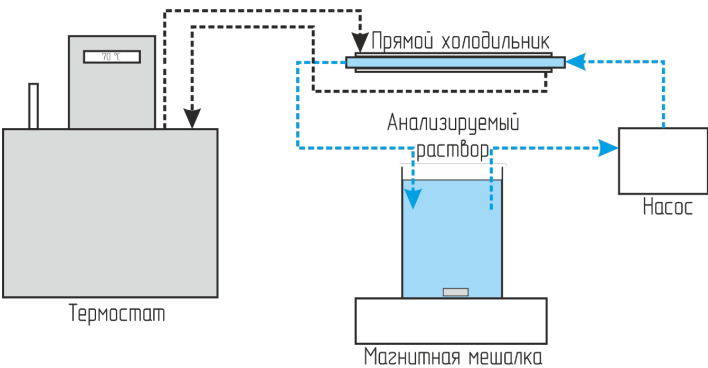


Рис. 2. Принципиальная схема лабораторной установки
Fig. 2. Schematic diagram of the laboratory setup

Таблица 3. Влияние реагента НТФ-Mg на количество образующихся отложений
Table 3. The influence of the reagent NTf-Mg on the amount of deposits formed

Реагент	Концентрация, мг/л	Количество отложений, мг
Контроль	-	8,7 ±0,2
НТФ-Mg	0,5	1,4±0,12
	0,75	0,8±0,05
	1,0	0,5±0,03
	1,25	0,1±0,03
	1,5	0,1±0,03
	1,75	0,1±0,02

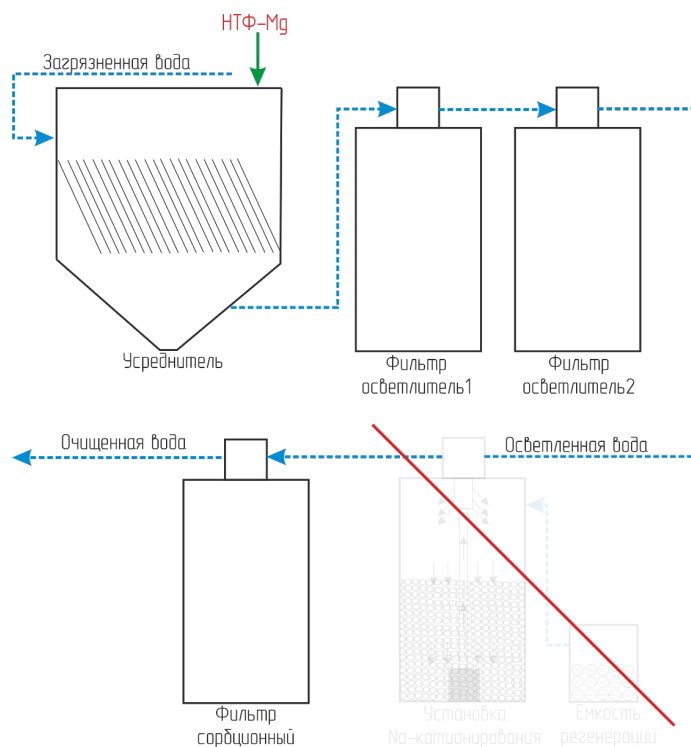


Рис. 3. Принципиальная схема очистки сточной воды с применением ингибитора солеотложений
Fig. 3. Schematic diagram of wastewater treatment using a scale deposition inhibitor

Вывод. Внедрение ингибиторов солеотложений позволяет минимизировать указанные проблемы, обеспечивая более устойчивое и экологически чистое решение для управления отложениями в оборудовании. Использование таких технологий не только способствует снижению эксплуатационных расходов, но и улучшает общую эффективность очистки сточных вод, что является важным шагом к достижению более устойчивого и безопасного водного управления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гарифуллин Ф.С., Габдуллин Р.Ф. Изучение условий образования и зон отложения комплексных осадков в добывающих скважинах // Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений: сб. науч. тр. Уфа: Изд-во УГНТУ, 1999. С. 33–38.
2. Дрикер Б.Н., Протазанов А.А., Пантюхин С.В. Водоподготовка при добыче нефти на Боголюбовском месторождении // Энергосбережение и водоподготовка. 2020. № 4 (126). С. 4–6.
3. Boels L., Wagterveld R. M., Witkamp G. J. Ultrasonic reactivation of phosphonate poisoned calcite during crystal growth. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2011. V. 18. N. 5. P. 1225–1231.
4. Ji, Y., Chen, Y., Le, J., et al. Highly effective scale inhibition performance of aminotrimethylenephosphonic acid on calcium carbonate. *Desalination*. 2017. V. 422. P. 165–173. DOI: 10.1016/j.DESAL.2017.08.027.

5. Шангараева Л.А., Петухов А.В. Особенности процесса отложений сульфата бария в скважинном оборудовании с участием активных органических соединений нефти // Инженер-нефтяник. 2012. № 4. С. 13–15.

6. El-Lateef H.M.A., Aliyeva L.I., Abbasov V.M. Corrosion inhibition of low carbon steel in CO₂-saturated solution using Anionic surfactant // *Adv. Appl. Sci. Res.* 2012. P. 1185–1201. DOI: 10.15199/40.2015.11.7.

7. Дрикер Б.Н., Протазанов А.А., Цирульникова Н.В. Ингибитор многоцелевого назначения для систем водопотребления // Энергосбережение и водоподготовка. 2020. № 6. С. 13–17.

8. Хормали А., Петриков Д.Г. Исследование отложения карбоната кальция и сульфата бария при наличии ингибитора парафина // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2015. № 12. С. 39–41.

9. Дрикер Б.Н., Протазанов А.А. Испытания магниевых комплексонов нитрилотриметиленовой кислоты для предотвращения коррозии металла и солеотложений // Градостроительство и архитектура. 2024. Т. 14, № 2. С. 15–22. DOI: 10.17673/Vestnik.2024.02.03.

10. Кацавцев В.Е. Роль пластовых вод в процессе осадкообразования солей при добыче нефти // Нефть, газ и бизнес. 2004. № 1. С. 42–45.

REFERENCES

1. Garifullin F.S., Gabdullin R.F. Studying the conditions of formation and zones of deposition of complex sedi-

ments in producing wells. *Razrabotka i jekspluatatsiya nefnykh mestorozhdenij: sb. nauch. tr.* [Development and operation of oil fields: scientific. tr.]. Ufa, 1999, pp. 33–38. (In Russian).

2. Driker B.N., Protazanov A.A., Pantyukhin S.V. Water treatment during oil production at the Bogolyubovskoye field. *Energoberezhenie i vodopodgotovka* [Energy saving and water treatment], 2020, no. 4 (126), pp. 4–6. (in Russian)

3. Boels L., Wagterveld R. M., Witkamp G. J. Ultrasonic reactivation of phosphonate poisoned calcite during crystal growth. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2011. V. 18. N. 5. P. 1225–1231.

4. Ji Y., Chen Y., Le J., et al. Highly effective scale inhibition performance of aminotrimethylenephosphonic acid on calcium carbonate. *Desalination*. 2017. V. 422. P. 165–173. DOI: 10.1016/j.desal.2017.08.027

5. Shangaraeva L.A., Petukhov A.V. Features of the process of barium sulfate deposits in downhole equipment with the participation of active organic compounds of oil. *Inzhener-neftyanik* [An oil engineer], 2012, no. 4, pp. 13–15. (in Russian)

6. El-Lateef H.M.A., Aliyeva L.I., Abbasov V.M. Corrosion inhibition of low carbon steel in CO₂-saturated solution using Anionic surfactant. *Adv. Appl. Sci. Res.* 2012. P. 1185–1201. DOI: 10.15199/40.2015.11.7

Об авторах:

ДРИКЕР Борис Нутович

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры физико-химической технологии защиты биосферы
Уральский государственный лесотехнический университет
620100, Россия, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37
E-mail: Bndriker70191@mail.ru

ПРОТАЗАНОВ Афанасий Андреевич

кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры физико-химической технологии защиты биосферы
Уральский государственный лесотехнический университет
620100, Россия, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37
руководитель проектов ООО «Бантер Групп»
620027, Россия, г. Екатеринбург, пер. Красный, 5
E-mail: Protazanov.a@yandex.ru

СИТНИКОВ Данила Александрович

руководитель проектного отдела
ООО «Бантер Групп»
620027, Россия, г. Екатеринбург, пер. Красный, 5
E-mail: Sitnikov.D@bunter.ru

7. Driker B.N., Protazanov A.A., Tsiurlikova N.V. Multi-purpose inhibitor for water consumption systems. *Energoberezhenie i vodopodgotovka* [Energy saving and water treatment], 2020, no. 6, pp. 13–17. (in Russian)

8. Khormali A., Petrakov D.G. Investigation of the deposition of calcium carbonate and barium sulfate in the presence of a paraffin inhibitor. *Stroitel'stvo nefnykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more* [Construction of oil and gas wells on land and at sea], 2015, no. 12, pp. 39–41. (in Russian)

9. Driker B.N., Protazanov A.A. Testing of magnesium complexes of nitrilotrimethylene phosphonic acid to prevent metal corrosion and salt deposits. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2024, vol. 14, no. 2, pp. 15–22. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2024.02.03

10. Kashchavtsev V.E. The role of reservoir waters in the process of salt sedimentation in oil production. *Neft', gaz i biznes* [Oil, gas and business], 2004, no. 1, pp. 42–45. (in Russian)

ДРИКЕР Boris N.

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Physical and Chemical Technology of Biosphere Protection Chair
Ural State Forestry University
620100, Russia, Yekaterinburg, Sibirsky tr., 37
E-mail: Bndriker70191@mail.ru

ПРОТАЗАНОВ Afanasy An.

PhD of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Physical and Chemical Technology of Biosphere Protection Chair
Ural State Forestry University
620100, Russia, Yekaterinburg, Sibirsky trakt, 37
Project Manager Banter Group LLC
620027, Russia, Yekaterinburg, Krasny Lane, 5
E-mail: Protazanov.a@yandex.ru

СИТНИКОВ Danila Al.

Project Manager
Banter Group LLC
620027, Russia, Yekaterinburg, Krasny lane, 5
E-mail: Sitnikov.D@bunter.ru

Для цитирования: Дрикер Б.Н., Протазанов А.А., Ситников Д.А. Альтернативный способ предотвращения минеральных отложений // Градостроительство и архитектура. 2025. Т. 15, № 1. С. 69–74. DOI: 10.17673/Vestnik.2025.01.10.

For citation: Driker B.N., Protazanov A.A., Sitnikov D.A. An alternative way to prevent mineral deposits. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2025, vol. 15, no. 1, pp. 69–74. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2025.01.10.