

Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2022. Вып. 1 (135). С. 141-149. ISSN 1998-8443 (print)

Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products. 2022. Issue 1 (135). P. 141-149. ISSN 1998-8443 (print)

Научная статья

УДК 628.349.094.3

doi: 10.17122/ntj-oil-2022-1-141-149

ОЧИСТКА СТОЧНОЙ ВОДЫ ПУТЕМ ОЗОНИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ООО «ГАЗПРОМ ДОБЫЧА ШЕЛЬФ ЮЖНО-САХАЛИНСК»

Алсу Вадиковна Бадретдинова¹, Гузель Габдулловна Ягафарова²,
Альберт Хамитович Сафаров³, Алия Карамовна Мазитова⁴,
Лиля Рамилевна Акчурина⁵, Динара Ильгизаровна Микулик⁶

^{1, 2, 3, 4, 5, 6}Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

¹badretdinovaal99@mail.ru

^{2, 4}kafedra_ecologia@mail.ru

³alsaf1978@mail.ru

⁵akchurina_lr@mail.ru

⁶dina21ra@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Лиля Рамилевна Акчурина, akchurina_lr@mail.ru

Аннотация. В последние годы проблема сточных вод приобретает большую остроту и актуальность во всем мире.

В процессе хозяйственной деятельности современное общество потребляет немалое количество воды, большая часть которой в результате становится загрязненной самыми различными веществами.

Так, например, сточная вода на газоконденсатном месторождении содержит большой спектр загрязняющих веществ, которые необходимо удалить.

После ряда различных этапов очистки сточных вод в качестве доочистки для удаления органических загрязнителей целесообразно применять озон.

Цель статьи - анализ системы раздельной очистки хозяйственно-бытовых сточных вод, используемой на ООО «Газпром добыча шельф Южно-Сахалинск».

В результате анализа очищенной воды установлено, что использование озона является эффективным методом для процесса обеззараживания хозяйственно-бытовых сточных вод.

Ключевые слова: озонаторная установка, очистные сооружения, хозяйственно-бытовые сточные воды, промышленные сточные воды, Киринское газоконденсатное месторождение, комплекс термического обезвреживания

Для цитирования: Бадретдинова А. В., Ягафарова Г. Г., Сафаров А. Х., Мазитова А. К., Акчурина Л. Р., Микулик Д. И. Очистка сточной воды путем озонирования на примере ООО «Газпром добыча шельф Южно-Сахалинск» // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2022. Вып. 1 (135), С. 141-149. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2022-1-141-149>.

Original article

WASTEWATER TREATMENT BY OZONATION ON THE EXAMPLE OF GAZPROM DOBYCHA SHELF YUZHNO-SAKHALINSK

Alsu V. Badretdinova¹, Guzel G. Yagafarova², Albert Kh. Safarov³, Aliya K. Mazitova⁴,
Lilya R. Akchurina⁵, Dinara I. Mikulik⁶

^{1, 2, 3, 4, 5, 6}Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

¹badretdinovaal99@mail.ru

^{2, 4}kafedra_ecologia@mail.ru

³alsaf1978@mail.ru

⁵akchurina_lr@mail.ru

⁶dina21ra@mail.ru

Corresponding author: Lilya R. Akchurina, akchurina_lr@mail.ru

Abstract. In recent years, the problem of wastewater has become more acute and relevant throughout the world.

In the process of economic activity, modern society consumes a considerable amount of water, most of which, as a result, becomes contaminated with a wide variety of substances.

For example, wastewater from a gas condensate field contains a wide range of pollutants that must be removed.

After a number of different stages of wastewater treatment, it is advisable to use ozone as an aftertreatment to remove organic pollutants.

The purpose of the article is to analyze the system for separate treatment of household wastewater used by Gazprom Dobycha Shelf Yuzhno-Sakhalinsk.

As a result of the analysis of purified water, it was found that the use of ozone is an effective method for the process of disinfection of domestic wastewater.

Keywords: ozonator plant, treatment facilities, domestic wastewater, industrial wastewater, Kirinskoye gas condensate field, thermal treatment complex

For citation: Badretdinova A. V., Yagafarova G. G., Safarov A. Kh., Mazitova A. K., Akchurina L. R., Mikulik D. I. Oчistka stochnoy vody putem ozonirovaniya na primere ООО «Газпром добыча шельф Южно-Сахалинск». [Wastewater Treatment by Ozonation on the Example of Gazprom Dobycha Shelf Yuzhno-Sakhalinsk]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefli i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*. 2022, Issue 1 (135), pp. 141-149. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2022-1-141-149>.

Введение

С развитием нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий возрастает негативное воздействие на окружающую среду, в связи с чем возникают проблемы загрязнения водных объектов сточными водами. Вещества, присутствующие в стоках нефтехимических и нефтеперерабатывающих заводов, в частности нефтепродукты, ароматические и полиароматические соединения, тяжелые металлы оказывают крайне негативное влияние на природные экосистемы водных объектов [1].

Все чаще встречаются очистные сооружения с полной утилизацией сточной воды. Происходит это за счет процесса сжигания (выпаривания) в инсинераторах с дальнейшим удалением дымовых газов в дымовую трубу [2]. Данный метод применяют на производстве, когда промышленные сточные воды содержат большое количество нефтепродуктов в воде, но данный процесс является экономически невыгодным и экологически небезопасным, так как для сжигания применяют топливо в виде природного газа [3].

Так, например, одним из таких предприятий, который полностью утилизирует сточные воды за счет выпаривания, является ООО «Газпром добыча шельф Южно-Сахалинск», осуществляющий свою деятельность на Киринском газоконденсатном месторождении. Киринское газоконденсатное

месторождение расположено на северо-восточном шельфе острова Сахалин, находится в пределах Киринского блока проекта «Сахалин-3». В Сахалин-3 входит четыре блока месторождений: Киринский, Венинский, Аяшинский и Восточно-Одоптинский.

Киринское месторождение на сегодняшний день является единственным месторождением на российском шельфе, где добыча ведется с помощью подводного добычного комплекса. Оператором на данном месторождении является ООО «Газпром добыча шельф Южно-Сахалинск», которая является 100 % дочерней организацией ПАО «Газпром» (рисунок 1).

В ходе технологических процессов в ООО «Газпром добыча шельф Южно-Сахалинск» образуются промышленные и хозяйственно-бытовые сточные воды. В таблице 1 приведен состав сточных вод, образующихся на территории ООО «Газпром добыча шельф Южно-Сахалинск». Расход хозяйственно-бытовых сточных вод за сутки составляет $85,388 \text{ м}^3/\text{сут}$, а промышленных сточных вод - $104,156 \text{ м}^3/\text{сут}$. В ООО «Газпром добыча шельф Южно-Сахалинск» для очистки сточных вод применяется метод термического обезвреживания стоков [4]. Данный метод является неактуальным в связи с тем, что данный процесс предусматривает смешение промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод для дальнейшей очистки, что является весьма неэффективным [5, 6].



Рисунок 1. Блок проекта «Сахалин-3»
Figure 1. Block of the Sakhalin-3 project

Таблица 1. Состав сточных вод, образующихся на территории ООО «Газпром добыча шельф Южно-Сахалинск»

Table 1. Composition of wastewater generated on the territory of Gazprom Dobycha Shelf Yuzhno-Sakhalinsk

Наименование	Кол-во, мг/л
Хозяйственно бытовые сточные воды	
БПК _{полн}	300, O ₂ /л
Жиры	0,1
СПАВ	10
Фосфататы	13,2
Азот аммонийный (по N)	32
Взвешенные вещества	260
Минерализация	350,41
Железо	1,663
Марганец	0,026
Промышленные сточные воды	
Взвешенные вещества	16,11
МЭГ	2903,337
Нефтепродукты	1967,779

Термическое обезвреживание сточных вод включает в себя: очистку стоков от механических примесей с дальнейшим осветлением воды во флотаторе, подачу осветленной воды на двухступенчатую обратноосмотическую мембрану для разделения воды на концентрат и пермеат.

После разделения воды концентрат подается в инсенератор для сжигания при температуре 850-890 °С. Образованные в инсенераторе дымовые газы поступают на рекуператор для охлаждения до 700 °С, откуда газы уже подаются в скруббер на очистку от пыли с помощью образованного в процессе очистки пермеата. Избыток жидкости из скруббера откачивается в емкости концентрата, а охлажденные дымовые газы дымососом удаляются через дымовую трубу [4].

Методы исследования

Целью данной работы является исследование процесса раздельной очистки хозяйственно-бытовых сточных вод, образованных в ООО «Газпром добыча шельф Южно-Сахалинск».

Проведены лабораторные исследования очистки хозяйственно-бытовых сточных вод, изучены методы озонирования сточных вод. Для экспериментов использована модельная проба хозяйственно-бытовых сточных вод ООО «Газпром добыча шельф Южно-Сахалинск».

Предварительная очистка хозяйственно-бытовых сточных вод заключалась в следующем: в сточную воду для повышения pH добавили щелочь (NaOH), для обеспечения процесса укрупнения частиц загрязнений дозировали растворы коагулянта (FeCl₃) и флокулянта (ПАА), затем отстаивали.

После предварительной очистки сточная вода проходила процесс озонирования, который применяется в качестве доочистки. Озон обладает высоким электродным потенциалом, то есть является активным соединением и окисляет органические и неорганические загрязнители воды, микроорганизмы не являются исключением. Растворение озона в

воде способствует двум основным процессам – окислению и дезинфекции. Как следствие, наблюдается значительное увеличение растворенного кислорода. К озонированию относятся как процессы прямого окисления всех загрязнителей воды находящимся в воде озонном, так и процессы с участием гидроксильных радикалов, продуктов химической трансформации озона (непрямое окисление) [7-10].

В рамках данного исследования для производства озона использовали озоногенератор ОГВК-02К, для обеспечения ввода озонкислородной смеси в H₂O и взаимодействия с примесями - реактор (дрексель); прибор контроля концентрации озона в воде - фотометр «Эксперт-003». В обрабатываемую воду озон подавали с помощью пористого керамического диспергатора. Окисление проводили в непроточном режиме, в вытяжном шкафу при герметизации озонатора. Концентрацию озона в воздухе рабочей зоны контролировали с помощью индикаторных трубок ТИ-[O₃-0,003], она не должна превышать 0,0001 мг/дм³.

Эффективность очистки сточной воды методом озонирования напрямую зависит от концентрации O₃, времени контакта H₂O с озоновоздушной смесью, величины pH и температуры очищаемой воды, исходной концентрации загрязнений [7]. Подбор оптимальных параметров осуществлялся экспериментально.

В процессе очистки сточной воды от веществ, реагирующих с озоном с низкой скоростью, для достижения необходимой глубины извлечения загрязнений и увеличения коэффициента использования применяли двухступенчатую противоточную схему. Первая ступень предполагает предварительное озонирование неполностью подвергающейся озоновоздушной смеси с дозой озона до 5 мг/л, во второй ступени идет конечное окисление примесей сточной воды.

Двухступенчатая схема, включающая деление потока, предусматривает в себе установку двух реакторов, где в первый реактор идет 80 % от общего количества сточной во-

ды, а оставшиеся 20 % - во второй. При этом озонозовоздушная смесь пропускается последовательно через оба реактора. Такая двухступенчатая схема дает возможность практически до конца использовать подаваемый озон. Доза O_3 в отходящих газах по данной схеме составляет 0,01 % масс.

Качество очищенной сточной воды определяли по известным методикам.

Для определения жиров в сточной воде использовали методику ИК-спектрофотометрии с применением концентратометров серии КН [11]. Метод измерения массовой концентрации жиров основан на измерении зависимости интенсивности поглощения С-Н связей в инфракрасной области спектра (2930 ± 70) cm^{-1} от массовой концентрации жиров в растворе четырёххлористого углерода.

Процедура анализа заключается в извлечении жиров четырёххлористым углеродом из анализируемой пробы воды (при рН ~ 2) посредством двукратной экстракции. Экстракт делят на две приблизительно равные части.

В первой части экстракта определяют суммарную концентрацию всех экстрагиру-

емых веществ. Вторую часть экстракта подвергают хроматографическому разделению в колонке, заполненной оксидом алюминия, и в элюате определяют массовую концентрацию нефтепродуктов. По разности результатов этих определений находят суммарную концентрацию жиров в анализируемой пробе воды.

Значения БПК_{полн} определяется на приборах, которые представляют собой многофункциональные комплекты, состоящие из фотометра с измерительной ячейкой, рН-метра с электродами, магнитной мешалки с подогревом, термодатчика и др.

Результаты измерений

Преимуществом озонирования является то, что озон сам по себе или в комбинации с гидроксид-радикалами эффективен по отношению к большинству органических трудноокисляемых соединений, которые разлагаются, образуя безвредные вещества [8].

Результаты по составу очищенных хозяйственно-бытовых сточных вод представлены в таблице 2.

Таблица 2. Состав сточной воды, прошедший физико-химический процесс очистки и после озонирования

Table 2. The composition of waste water that has passed the physical and chemical purification process and after ozonation

Наименование	Состав хозяйственно-бытовых сточных вод после физико-химической очистки, мг/л	Состав хозяйственно-бытовых сточных вод после озонирования, мг/л
БПК _{полн}	27, O_2 /л	2,5, O_2 /л
СПАВ	1,0	0,40
Жиры	0,1	0,01
Азот аммонийный (по N)	0,63	0,61
Фосфататы	0,145	0,5
Взвешенные вещества	23	0,09
Железо II	0,963	0,001
Марганец	0,011	0,010

По результатам исследований, приведенным в таблице 2, наблюдается уменьшение органических загрязнений (СПАВ, жиров и показателя БПК_{полн}) до экологически безопасного уровня. При этом наблюдается некоторое уменьшение катионов и анионов: азота аммонийного, железа, марганца, фосфатов. По-видимому, при озонировании происходит их окисление.

Список источников

1. Очистка сточных вод. Очистные сооружения промышленных стоков. Установки и системы очистки сточных вод // ENCE GmbH. URL: https://oil-filters.ru/sewage_water_treatment/ (дата обращения: 17.12.2021).
2. Яковлев С.В. Альтернативные решения по обезвреживанию и утилизации хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод // Газовая промышленность. 2014. № 5. С. 26-27.
3. СТО Газпром 2-1.19-519-2010. Требования по охране окружающей среды к системам канализования площадных сооружений объектов ОАО «Газпром» и выбору очистных сооружений ливневых стоков. М.: Газпром, 2011. 50 с.
4. Аминова А.Ф. Разработка способа очистки фенолсодержащих сточных вод: дис. ... канд. техн. наук. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2019. 130 с.
5. Suarasan I., Mudura M., Chira R., An G. A Novel Type Ozonizer for Wastewater Treatment // Journal of Electrostatics. 2005. Vol. 63. Issue 6-10. P. 831-836. DOI: 10.1016/j.elstat.2005.03.079.
6. Mecha A.C., Chollom M.N. Photocatalytic Ozonation of Wastewater: a Review // Environmental Chemistry Letters. 2020. Vol. 18. P. 1491-1507. DOI: 10.1007/s10311-020-01020-x.
7. Janknecht P., Picard C., Larbot A., Wilderer P. Membrane Ozonation in Wastewater Treatment // Acta Hydrochimica et Hydrobiologica. 2004. Vol. 32. Issue 1. P. 33-39. DOI: 10.1002/ahch.200300521.
8. Wert E.C., Rosario-Ortiz F.L., Drury D.D. Formation of Oxidation Byproducts from Ozonation of Wastewater // Water Research. 2007. Vol. 41. Issue 7. P. 1481-1490. DOI: 10.1016/j.watres.2007.01.020.
9. Ягафарова Г.Г., Насырова Л.А., Шахова Ф.А., Балакирева С.В., Барахнина В.Б., Сафаров А.Х. Инженерная экология в нефтегазовом комплексе. Уфа: Изд-во «Нефтегазовое дело», 2007. 334 с.
10. Ягафарова Г.Г., Валиахметова Ю.А., Леонтьева С.В., Сафаров А.Х. Очистка водных объектов от экотоксикантов. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2018. 266 с.

Вывод

Обосновано, что отдельная очистка хозяйственно-бытовых сточных вод ООО «Газпром добыча шельф Южно-Сахалинск» с применением физико-химического способа и озонирования из расчета 5 мг О₃/л позволяет достичь высокой степени очистки сточных вод от органических загрязнений.

References

1. Ochistka stochnykh vod. Ochistnye sooruzheniya promyshlennykh stokov. Ustanovki i sistemy ochistki stochnykh vod [Cleaning of Drains. Treatment Facilities for Industrial Wastewater. Wastewater Treatment Plants and Systems]. ENCE GmbH. Available at: https://oil-filters.ru/sewage_water_treatment/ (accessed 17.12.2021). [in Russian].
2. Yakovlev S.V. Al'ternativnye resheniya po obezvrezhivaniyu i utilizatsii khozyaistvenno-bytovykh i proizvodstvennykh stochnykh vod [Alternative Solutions for the Neutralization and Disposal of Domestic and Industrial Wastewater]. *Gazovaya promyshlennost' - GAS Industry of Russia*, 2014, No. 5, pp. 26-27. [in Russian].
3. SТО Gazprom 2-1.19-519-2010. Trebovaniya po okhrane okruzhayushchei sredy k sistemam kanalizovaniya ploshchadnykh sooruzhenii ob"ektov ОАО «Газпром» i vyboru ochistnykh sooruzhenii livnevyykh stokov [STO Gazprom 2-1.19-519-2010. Environmental Protection Requirements for the Sewerage Systems of Areal Facilities of JSC Gazprom Facilities and the Selection of Storm Water Treatment Facilities]. Moscow, Gazprom Publ., 2011. 50 p. [in Russian].
4. Aminova A.F. *Razrabotka sposoba ochistki fenolsoderzhashchikh stochnykh vod: dis. kand. tekhn. nauk* [Development of a Method for Treating Phenol-Containing Wastewater: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Ufa, UGNTU Publ., 2019. 130 p. [in Russian].
5. Suarasan I., Mudura M., Chira R., An G. A Novel Type Ozonizer for Wastewater Treatment. *Journal of Electrostatics*, 2005, Vol. 63, Issue 6-10, pp. 831-836. DOI: 10.1016/j.elstat.2005.03.079.
6. Mecha A.C., Chollom M.N. Photocatalytic Ozonation of Wastewater: a Review. *Environmental Chemistry Letters*, 2020, Vol. 18, pp. 1491-1507. DOI: 10.1007/s10311-020-01020-x.
7. Janknecht P., Picard C., Larbot A., Wilderer P. Membrane Ozonation in Wastewater Treatment. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*, 2004, Vol. 32, Issue 1, pp. 33-39. DOI: 10.1002/ahch.200300521.
8. Wert E.C., Rosario-Ortiz F.L., Drury D.D. For-

11. ПНД Ф 14.1:2.189-02. Методика (метод) измерений массовой концентрации жиров в пробах природных и очищенных сточных вод методом ИК-спектрофотометрии с применением концентратометров серии КН. М.: Федеральная служба по надзору в сфере природопользования, 2017. 8 с.

mation of Oxidation Byproducts from Ozonation of Wastewater. *Water Research*, 2007, Vol. 41, Issue 7, pp. 1481-1490. DOI: 10.1016/j.watres.2007.01.020.

9. Yagafarova G.G., Nasyrova L.A., Shakhova F.A., Balakireva S.V., Barakhnina V.B., Safarov A.Kh. *Inzhenernaya ekologiya v neftegazovom komplekse* [Engineering Ecology in the Oil and Gas Complex]. Ufa, «Neftegazovoe delo» Publ., 2007. 334 p. [in Russian].

10. Yagafarova G.G., Valiakhmetova Yu.A., Leonteva S.V., Safarov A.Kh. *Ochistka vodnykh ob'ektov ot ekotoksikantov* [Purification of Water Bodies from Ecotoxicants]. Ufa, UGNTU Publ., 2018. 266 p. [in Russian].

11. *PND F 14.1:2.189-02. Metodika (metod) izmerenii massovoi kontsentratsii zhirov v probakh prirodnykh i ochishchennykh stochnykh vod metodom IK-spektrofotometrii s primeneniem kontsentratomerov serii KN* [PND F 14.1:2.189-02. Method for Measuring the Mass Concentration of Fats in Samples of Natural and Treated Wastewater by IR Spectrophotometry Using KN Series Concentrators]. Moscow, Federal'naya sluzhba po nadzoru v sfere prirodopol'zovaniya Publ., 2017. 8 p. [in Russian].

Информация об авторах

• Бадретдинова Алсу Вадиковна
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Магистрант кафедры прикладной экологии
Россия, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1
e-mail: badretdinovaal99@mail.ru

• Ягафарова Гузель Габдулловна, д-р техн. наук,
профессор
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Профессор кафедры прикладной экологии
Россия, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1
e-mail: kafedra_ecologia@mail.ru

• Сафаров Альберт Хамитович, канд. техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры прикладной экологии
Россия, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1
e-mail: alsaf1978@mail.ru

• Мазитова Алия Карамовна, д-р хим. наук,
профессор
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Заведующая кафедрой прикладных
и естественных дисциплин
Россия, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1
e-mail: kafedra_ecologia@mail.ru

Information about the authors

• Badretdinova Alsu V.
Ufa State Petroleum Technological University
Undergraduate Student of Applied Ecology
Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064, Russia
e-mail: badretdinovaal99@mail.ru

• Yagafarova Guzel G., Doctor of Engineering
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Professor of Applied Ecology Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064, Russia
e-mail: kafedra_ecologia@mail.ru

• Safarov Albert Kh., Candidate of Engineering
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Applied Ecology Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064, Russia
e-mail: alsaf1978@mail.ru

• Mazitova Aliya K., Doctor of Chemical Sciences,
Professor
Ufa State Petroleum Technological University
Head of Applied and Natural Sciences Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064, Russia
e-mail: kafedra_ecologia@mail.ru

• Акчурина Лиля Рамилевна, канд. техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры прикладной экологии
Россия, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1
e-mail: akchurina_lr@mail.ru

• Akchurina Lilya R., Candidate of Engineering
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Applied Ecology Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064, Russia
e-mail: akchurina_lr@mail.ru

• Микулик Динара Ильгизаровна
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Младший научный сотрудник кафедры
прикладной экологии
Россия, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1
e-mail: dina21ra@mail.ru

• Mikulik Dinara I.
Ufa State Petroleum Technological University
Researcher of Applied Ecology Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064, Russia
e-mail: dina21ra@mail.ru

Статья поступила в редакцию 12.12.2021; одобрена после рецензирования 21.12.2021; принята к публикации 10.01.2022.

The article was submitted 12.12.2021; approved after reviewing 21.12.2021; accepted for publication 10.01.2022.