ЭКОБИОТЕХ
ISSN 2618-964X http://ecobiotech-journal.ru

УДК 628.358 UDC 628.358

Перспективные биотехнологии очистки нефтесодержащих сточных вод

Щемелинина Т.Н.*, Анчугова Е.М., Маркарова М.Ю.

Институт биологии Коми научный центр УрО РАН, Сыктывкар, Россия
*E-mail: tatyanakomi@mail.ru

Аннотация

Опытно-промышленные испытания (ОПИ) технологии очистки нефтесодержащих сточных вод были проведены на очистных сооружениях АО «КомиАвиаТранс» г. Сыктывкара и в шламовом амбаре, расположенном в Ямало-Ненецком автономном округе (ЯНАО). В технологиях были испытаны биопрепарат «БИОТРИН» и биогеосорбент «ГЕОЛЕКС®». Мониторинг эффективности технологии очистки осуществляли путем контроля содержания нефтепродуктов и измерения дегидрогеназной активности.

В условиях опытно-промышленного эксперимента на очистных сооружениях АО «КомиАвиаТранс» была показана возможность оптимизации технологии очистки нефтесодержащих сточных вод путем однократного внесения биопрепарата «БИОТРИН» в летний период. Эффективность очистки составила 91%. По мере окисления НП отмечали снижение численности клеток микроорганизмов и этому сопутствующее снижение дегидрогеназной активности.

Комплекс работ по реализации проекта очистки нефтезагрязненной воды на шламовом амбаре в ЯНАО, реализованный в октябре при температуре –3…+5°С, подтвердил эффективность применения биогеосорбента «ГЕОЛЕКС®». В результате содержание нефтепродуктов в воде снизилось до нормативных значений ПДК, установленных для воды, используемой для приготовления бетонов и строительных растворов.

Ключевые слова

нефтяное загрязнение ◆ сточная вода ◆ очистные сооружения ◆ шламонакопитель ◆ биопрепарат ◆ биогеосорбент ◆ опытно-промышленные испытания ◆ технология очистки

Поступила в редакцию: 27.08.2025
Принято в печать: 22.09.2025

Prospective biotechnologies for the treatment of petroleum-contaminated wastewater

Shchemelinina T.N.*, Anchugova E.M., Markarova M.Yu.

Institute of Biology of Komi Science Centre of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia
*E-mail: tatyanakomi@mail.ru

Abstract

Pilot-scale trials of the technology for treating petroleum-containing wastewater were conducted at the wastewater treatment facilities of KomiAviaTrans JSC in Syktyvkar and at a sludge storage site in the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug (YNAO). The tested technologies included the "BIOTRIN" bioremediation agentbiogeosorbent. The treatment efficiency was monitored by controlling the petroleum hydrocarbon content and measuring dehydrogenase activity.

During the pilot-scale experiment at the KomiAviaTrans JSC treatment facilities, the possibility of optimizing the petroleum-containing wastewater treatment technology through a single application of the "BIOTRIN" bioremediation agent in the summer period was demonstrated. The treatment efficiency reached 91%. As the petroleum hydrocarbons underwent oxidation, a decrease in the number of microbial cells was observed, accompanied by a corresponding decline in dehydrogenase activity.

The project implementation for the treatment of oil-contaminated water at the sludge storage site in YNAO, carried out in October under temperatures ranging from –3°C to +5°C, confirmed the effectiveness of the "GEOLEX®" Biogeosorbent. As a result, the concentration of petroleum hydrocarbons in the water was reduced to permissible levels according to the maximum permissible concentrations established for water used in concrete and construction mortar preparation.

Keywords

petroleum pollution ◆ wastewater ◆ treatment facilities ◆ sludge storage site ◆ bioremediation agent ◆ biogeosorbent ◆ pilot-scale trial ◆ treatment technology

Received: 27.08.2025
Accepted: 22.09.2025

Цитировать | Cite as

DOI: 10.31163/2618-964X/2025-26 EDN: KWQVBG

ВВЕДЕНИЕ

Автомойки, автозаправки, станции технического обслуживания автомобилей, авторемонтные мастерские и иные аналогичные предприятия, в процессе своей производственной деятельности образуют нефтесодержащие сточные воды [Çetin, Demici 2024; Kovrov, Kulikova 2024]. Несмотря на то, что загрязнение нефтепродуктам (НП) окружающей среды небольшими предприятиями незначительны, в комплексе возникает проблема, поиск решения которой является особо актуальным. Самым распространенным способом очистки является фильтрование с применением фильтрующих материалов (базальт, нетканое волокно), кварц, песок и пр. Стоки при такой очистке на выходе не соответствуют нормативам. Одним из решений доведения очистки сливающихся загрязненных вод может послужить внедрение биотехнологий с использованием микроорганизмов-нефтедеструкторов [Xu *et al*. 2018; Shchemelinina *et al*. 2021; Korshunova *et al.* 2024]. Процесс биоразложения углеводородов – это самый экологически безопасный способ их утилизации, который наиболее экономичен, эффективен и доступен по сравнению с другими химическими, механическими и физическими способами [Кузина *и др.* 2025]. Из возможных существующих методов оптимизации очистки стоков применяют насаждение непосредственно на фильтрующие материалы микроорганизмов-нефтедеструкторов [Khokhlov *et al.* 2018], при наличии аэротенков – обновление активного ила вносимыми микроорганизмами или периодическое внесение микроорганизмов-деструкторов в отстойники очистных сооружений [Hegazy *et al*. 2025; Chen *et al*. 2025].

Кроме того, нефтяная промышленность сталкивается с серьёзной проблемой, связанной с большим количеством нефтяных остатков, образующихся в резервуарах для хранения и переработки сырой нефти и НП, а также в шламонакопителях. Исследования показали, что остатки нефтяного шлама, состоящего в основном из нефти, воды и твёрдых частиц (42.8, 2.9 и 55.2% соответственно), приводят к изменению качества продукта и снижению вместимости резервуаров [Chrysalidis, Kyzas 2020]. Решение этой проблемы требует удаления остатков нефти и НП из шламонакопителей или внутренней очистки резервуаров.

В данной статье представлены методы биологической очистки промышленных нефтесодержащих сточных вод. Цель исследования заключалась в оценке эффективности технологий очистки нефтесодержащих сточных вод с применением биопрепарата «БИОТРИН» и биогеосорбента «ГЕОЛЕКС®».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Опытно-промышленные испытания технологии очистки нефтесодержащих сточных вод на очистных сооружениях АО «КомиАвиаТранс» г. Сыктывкара с применением альго-бактериально-дрожжевого консорциума.

Во второй отсек очистных сооружений ООО «КомиАвиаТранс» г. Сыктывкара, загрязненной НП (850 мг/л) была внесена биомасса альго-бактериально-дрожжевого консорциума (препарат «БИОТРИН») в количестве 15 л, из них микроводорослей *Chlorella vulgaris* IPPAS C-2024 – 14 л, титром клеток 10^8 кл./мл, бактерий *Pseudomonas yamanorum* BKM B-3033D – 0.5 л, титром клеток 10^{10} КОЕ/мл и дрожжей *Rhodotorula glutinis* VKM Y-2998D – 0.5 л, титром клеток 10^9 КОЕ/мл. В течение первых 10 минут и трижды за последующие 60 суток осуществляли аэрацию путем перегона воды насосом. Эксперимент проводили в летний период (июль – сентябрь). Средняя температура окружающей среды

составляла +17°С. Отобраны образцы воды для микроскопирования, определения содержания НП и измерения дегидрогеназной активности до внесения альго-бактериально-дрожжевого консорциума (проба 1), после аэрации спустя 30 минут (проба 2) и через 60 суток (проба 3).

Опытно-промышленные испытания технологии очистки нефтезагрязненной жидкости шламового амбара с применением биогеосорбента. Промышленные испытания биогеосорбента «ГЕОЛЕКС®» проводили в шламовом амбаре с загрязненной жидкостью, расположенном в Ямало-Ненецком автономном округе. Состав биогеосорбента «ГЕОЛЕКС®»: альго-бактериально-дрожжевой консорциум (препарат «БИОТРИН»: микроводоросли *Chlorella vulgaris* IPPAS C-2024, титр клеток 10^8 кл./мл, бактерии *Pseudomonas yamanorum* ВКМ B-3033D, титр клеток 10^{10} КОЕ/мл и дрожжи *Rhodotorula glutinis* VKM Y-2998D, титр клеток 10^9 КОЕ/мл), иммобилизованный на глауконитовый минерал соотношением 1:10. Объем очищаемой воды 750 000 л. Водный образец нефтесодержащей жидкости, отобранной из шламового амбара, имел уровень нефтяного загрязнения 69 мг/л. Степень насыщения сульфатами – 2.73 мг/л, анионактивными поверхностно активными веществами (АПАВ) – 3.3 мг/л. Отбор проб для контроля осуществляли в начале эксперимента, через 7 суток для снятия промежуточных показателей и в конце эксперимента через 14 суток.

Предварительно, в лабораторных исследованиях была отработана схема очистки: в загрязненную воду, отобранную из шламового амбара в количестве 1 л, вносили навеску биогеосорбента – 1 г. Режим эксперимента: аэрация в течение 7 суток при комнатной температуре (23–25°С). Далее, воду фильтровали через глауконитовый песок для десорбции клеток биогеосорбента. Воду анализировали на следующие показатели: pH, НП, АПАВ, взвешенные вещества, перманганатная окисляемость, NO_3^-, SO_4^{2-}, PO_4^{3-}, Cl^-, Pb, Zn, цветность, а также дегидрогеназная активность.

Таблица 1. Результаты количественного химического анализа воды, отобранной из шламового амбара до очистки и после в лабораторном эксперименте

Наименование компонента	Единицы измерения	ПДК [Приказ 2016]	Показатели	
			До очистки	После очистки
Нефтепродукты	мг/л	0.05	69±17.0	0.56±0.014
АПАВ	мг/л	0.1	3.3±0.8	0.10±0.03
pH	ед.	4>pH>12.5	3.84±0.2	6.9±0.2
Взвешенные вещества (ВВ)	мг/л	200	500	0.6±0.13
Перманганатная окисляемость	мг O_2/л	15	17.0±2.0	6.7±0.7
NO_3^-	мг/л	0.5	<0.044	0.21±0.06
SO_4^{2-}	мг/л	0.5	2.73±0.66	30±4
PO_4^{3-}	мг/л	0.1	0.06	0.19±0.05
Cl^-	мг/л	0.5	<0.5	17.9±2.3
Pb	мкг/л	30	<4.0	<4.0
Zn	мкг/л	1000	2030±600	68±16
Цветность	градусы цветности	≤ 30	210±20	24±5

На основании результатов лабораторного эксперимента был разработан проект биологической очистки загрязненной жидкости из шламонакопителя, включавший следующие виды работ:

1. Выкачивание нефтезагрязненной жидкости объемом 750 000 л из шламового амбара в емкость.
2. Внесение в емкости с водой минеральных удобрений, биогеосорбента – 75 кг на весь объем очищаемой жидкости.
3. Аэрация с помощью мотопомпы или аэрирующих устройств.
4. Фильтрация через песок.
5. Отбор и анализ проб очищенной воды.

ОПИ технологии очистки нефтезагрязненной жидкости шламового амбара с применением биогеосорбента по разработанной технологии были проведены в октябре при средней температуре окружающей среды +3°С.

Количественный химический анализ образцов воды был выполнен в экоаналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН, следующими методами:

pH – потенциометрией, ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97 (ФР.1.31.2007.03794) [ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97 2004]; нефтепродуктов, НП – флуориметрией, ПНД Ф 14.1:2:4.128-98 (ФР.1.31.2012.13169) [ПНД Ф 14.1:2:4.128-98 2012а]; АПАВ – флуориметрией, ПНД Ф 14.1:2:4.158-2000 (ФР.1.31.2014.17189) [ПНД Ф 14.1:2:4.158-2000 2000]; взвешенных веществ, ВВ – гравиметрией, ПНД Ф 14.1:2:4.254-2009 (ФР.1.31.2013.13901) [ПНД Ф 14.1:2:4.254-2009 2017]; перманганатной окисляемости – титриметрическим методом, ПНД Ф 14.1:2:4.154-99 (ФР.1.31.2013.13900) [ПНД Ф 14.1:2:4.154-99 2012б]; нитрат-иона, NO_3^- – фотометрией, ПНД Ф 14.1:2:4.4-95 (ФР.1.31.2013.16009) [ПНД Ф 14.1:2:4.4-95 2013]; сульфат-иона, SO_4^{2-} турбидиметрией, РД 52.24.405-2005 [РД 52.24.405-2005 2005]; содержание фосфат-иона, PO_4^{3-} – фотометрией, ПНД Ф 14.1:2:4.248-07 (ФР.1.31.2016.22975) [ПНД Ф 14.1:2:4.248-07 2016а]; хлорид-иона, Cl^- – атомно-эмиссионной спектроскопией с индукционно-связанной плазмой (АЭС ИСП), ФР.1.31.2016.23501 [ФР.1.31.2016.23501 2016б]; свинца, Pb, цинка, Zn, – АЭС ИСП, ПНД Ф 14.1:2:4.135-98 (ФР.1.31.2000.00132) [ПНД Ф 14.1:2:4.135-98, 2008]; цветности – фотометрией, ПНД Ф 14.1:2:4.207-04 (ФР.1.31.2007.03807) [ПНД Ф 14.1:2:4.207-04 2007]. Определение дегидрогеназной активности в водных образцах проводили по методам, описанным П. И. Роговской [Роговская, Оргианская 1970].

Статистическую обработку данных проводили с использованием стандартных программам MS Excel. В таблицах данные представлены как среднее ± стандартная ошибка. Достоверность различий оценивали по *t*-критерию Стьюдента. Статистическую значимость определяли на уровне $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Опытно-промышленные испытания технологии очистки нефтесодержащих сточных вод на очистных сооружениях АО «КомиАвиаТранс» г. Сыктывкара с применением альго-бактериально-дрожжевого консорциума.

На очистных сооружениях АО «КомиАвиаТранс» г. Сыктывкара собирается сточная вода со всего склада горюче-смазочных материалов (ГСМ), загрязненная НП (авиационным

керосином, отработанным маслом, бензином). В первом отсеке НП создают слой на поверхности воды до 3 см. Из этого отсека экологами предприятия производится периодическое откачивание воды в кубовые емкости и ее отстаивание с целью отделения всплывающих НП с последующей их утилизацией лицензированными производственными предприятиями. Во втором отсеке менее загрязненная вода, наблюдаются стойкий запах НП и наличие на поверхности видимой рыжей пленки. Далее вода проходит стадию фильтрации и на выходе сбрасывается в ручей.

Доочистка воды осуществлялась во втором отсеке. На начальной стадии колонизации воды второго отсека очистных сооружений (спустя 30 минут аэрации) микроорганизмами альго-бактериально-дрожжевого консорциума показано наличие в ней бактерий и дрожжей с титром клеток 10^4 КОЕ/мл для каждой из указанных групп микроорганизмов. Невысокая концентрация клеток связана с периодом адаптации к токсичным концентрациям углеводородов [Truskewycz *et al.* 2019].

Спустя 60 суток от начала эксперимента бактериальные клетки обнаружены в воде в небольшой концентрации – 10^2 КОЕ/мл. Дрожжевые клетки успешно адаптировались и продолжили размножаться. Их концентрация в воде составила 10^6 КОЕ/мл. Микроскопирование проб воды в конце эксперимента выявило наличие микроводорослей с титром клеток 10^6 кл./мл, а также множества разрушенных клеточных мембран. Присутствие в воде детрита могло свидетельствовать о высокой активности микроводорослей, что может быть, как положительным (показатель естественного отмирания части клеток), так и отрицательным (токсический стресс, вызванный НП) результатом [Yu *et al*. 2024].

Несмотря на снижение численности бактерий, консорциум продемонстрировал высокую эффективность очистки через 60 суток благодаря значительному увеличению биомассы микроводорослей и дрожжей, что свидетельствовало об успешной адаптации и функциональной перестройке консорциума, обеспечивших поддержание и стимуляцию биологических процессов очистки (табл. 2). Аэрирование сточной воды в течение 30 минут способствовало распределению НП по всей толще второго отсека очистных сооружений и привело к снижению содержания НП в 6.5 раз от начальной концентрации (табл. 2, проба 2). Эффективность очистки воды от НП составила 91% за 60 суток.

Кроме того, внесение альго-бактериально-дрожжевого консорциума стимулировало дегидрогеназную активность. Установлена прямая зависимость между концентрацией углеводородов и метаболической активностью консорциума: снижение содержания углеводородов в среде вызывало уменьшение численности клеток и, как следствие, ингибирование активности.

Таблица 2. Результаты анализа образцов сточной воды ООО «КомиАвиаТранс»: дегидрогеназная активность и концентрация нефтепродуктов

Пробы	Дегидрогеназная активность, мг формазана/ 1 мл сточной воды	НП, мг/л
1	0.36±0.015	850±85
2	1.08±0.05	130±16
3	0.01	78±19

Опытно-промышленные испытания технологии очистки нефтезагрязненной жидкости шламового амбара с применением биогеосорбента.

Если предприятие, осуществляющее непрямой сброс, не может выполнять ограничения по сбросу, оно должно предварительно очистить свои сточные воды или принять соответствующие меры по предотвращению сброса или его сокращению. Разбавление сточных вод до требуемых пределов концентрации не допускается [Rosenwinkel, *et al.* 2019]. Решением проблемы непрямого сброса может стать утилизации воды после ее очистки. В каждом отдельном случае утилизация требует комплексного подхода, включающего анализ состава стоков, выбор соответствующих методов очистки и определение оптимальных способов повторного использования или сброса очищенных вод. Повторное использование очищенных сточных вод является важным аспектом устойчивого водопользования. Оно позволяет снизить нагрузку на водные ресурсы, сократить объемы сброса сточных вод в водоемы, покрыть часть потребностей в воде для орошения или технических нужд, в зависимости от близости тех или иных потребителей. Решением утилизации очищенной воды из шламового амбара, расположенного в Ямало-Ненецком автономном округе стало использование воды для приготовления бетонных и растворных смесей, после доведения ее до стандартных показателей ГОСТ 23732-2011 [ГОСТ 2011] (табл. 3).

Внесение биогеосорбента «ГЕОЛЕКС®» в загрязненную воду стало ключевым фактором, стимулирующим метаболизм углеводородов, что привело к снижению концентрации нефтепродуктов на 99% от первоначальной (табл. 3). Остальные показатели были ниже нормативов воды ГОСТ 23732-2011 для бетонов и строительных растворов (табл. 3). Снижение дегидрогеназной активности к концу эксперимента служило индикатором завершения метаболических процессов деградации НП (табл. 4).

Таблица 3. Влияние биогеосорбента на изменение химического состава очищенных сточных вод

Наименование компонентов	Единицы измерения	ПДК [ГОСТ…2011]	Показатели	
			7 суток	14 суток
Нефтепродукты	мг/л	0.05	0.95±0.24	0.023±0.008
АПАВ	мг/л	≤ 0.5	1.05±0.25	<0.025
pH	ед.	12.5 >pH> 4	4.0±0.2	5.5±0.2
Взвешенные вещества (ВВ)	мг/л	200–600	–	6.4±1.1
Перманганатная окисляемость	мг O_2/л	≤ 15	63±6	9.9±1.0
NO_3^-	мг/л	500	3.8±0.8	<0.001
SO_4^{2-}	мг/л	500–2700	6.3±0.9	0.5
PO_4^{3-}	мг/л	100	2±0.4	<0.05
Cl^-	мг/л	500–4500	7.5±1.0	0.5
Pb	мкг/л	100	<4.0	<4.0
Zn	мкг/л	100	1700±300	<5.0
Цветность	градусы цветности	≤ 30	104±10	45±9

Таблица 4. Дегидрогеназная активность в воде до и после очистки биогеосорбентом

Образец воды	Дегидрогеназная активность, мг формазана/1 мл
До биологической очистки	0.28±0.01
После биологической очистки. Лабораторный эксперимент.	1.0±0.05
После очистки с применением биогеосорбента. Промежуточный образец, 7 сутки.	0.97±0.04
После очистки с применением биогеосорбента с последующей фильтрацией воды через песок	0.02

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение в разных технологических циклах биопрепарата «БИОТРИН» и биогеосорбента «ГЕОЛЕКС®» привело к повышению степени очистки производственных стоков, загрязненных нефтью и нефтепродуктами.

В условиях опытно-промышленного эксперимента показана возможность оптимизации технологии очистки нефтесодержащих сточных вод склада ГСМ ООО «КомиАвиаТранс» путем внесения альго-бактериально-дрожжевого консорциума (биопрепарат «БИОТРИН») один раз в летний период. Эффективность очистки от нефтепродуктов составила 91%.

Технология использования биогеосорбента «ГЕОЛЕКС®» зарекомендовала себя в очистке загрязненной воды от нефтепродуктов шламового амбара в условиях низкой температуры окружающей среды (-3 до +5°С) и доведении ее до стандартных показателей воды для бетонов и строительных растворов согласно ГОСТ 23732-2011.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена при финансировании Государственного задания Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН по теме «Микробные сообщества экосистем Севера, их биотехнологический потенциал и технологии его реализации» (№ 125021201993-3) и ООО «БИОЭКОБАЛАНС» (Сыктывкар, Россия).

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность сотрудникам экоаналитической лаборатории Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

Конфликт интересов (Conflicts of Interest)

У авторов отсутствует конфликт интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ГОСТ 23732–2011 (**2011**) Вода для бетонов и строительных растворов. Стандартинформ. Москва.

Кузина Е.В., Рафикова Г.Ф., Мухаматдьярова С.Р., Искужина М.Г., Кульбаева Л.А. (**2025**) Влияние повышенных концентраций свинца и хлорида натрия на процесс восстановления нефтезагрязненной почвы. *Экобиотех*. **8**(2): 235-250. http://doi.org/10.31163/2618-964X/2025-17

ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97 (ФР.1.31.2007.03794). (**2004**) Методические рекомендации по применению выполнения измерений pH в водах потенциометрическим методом. Москва.

ПНД Ф 14.1:2:4.158-2000 (ФР.1.31.2014.17189). (**2000**) Методика измерений массовой концентрации анионных поверхностно-активных веществ в питьевых, природных и сточных водах экстракционно-фотометрическим методом. Москва.

ПНД Ф 14.1:2:4.135-98. (**2008**) Методика выполнения измерений массовой концентрации элементов в пробах питьевой, природных, сточных вод и атмосферных осадков методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Москва.

ПНД Ф 14.1:2:4.254-2009 (ФР.1.31.2018.29036). (**2017**) Методика выполнения измерений массовых концентраций взвешенных веществ и прокаленных взвешенных веществ в пробах питьевых, природных и сточных вод гравиметрическим методом. Москва.

ПНД Ф 14.1:2:4.248-07 (ФР.1.31.2016.22975). (**2016а**) Методика выполнения измерений массовых концентраций ортофосфатов, полифосфатов и фосфора общего в питьевых, природных и сточных водах фотометрическим методом. Москва.

ПНД Ф 14.1:2:4.207-04 (ФР.1.31.2007.03807). (**2007**) Методика выполнения измерений цветности питьевых, природных и сточных вод фотометрическим методом. Москва.

ПНД Ф 14.1:2:4.128-98 (ФР.1.31.2012.13169). (**2012а**) Методика измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных, питьевых, сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02». Москва.

ПНД Ф 14.1:2:4.4-95 (ФР.1.31.2013.16009). (**2013**) Методика измерений массовой концентрации нитрат-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с салициловой кислотой. Москва.

ПНД Ф 14.1:2:4.154-99 (ФР.1.31.2013.13900). (**2012б**) Методика измерений перманганатной окисляемости в пробах питьевых, природных и сточных вод титриметрическим методом. Москва.

ПРИКАЗ N 296 (**2025**) Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (от 26 мая 2025 года). https://docs.cntd.ru/document/1312976080

РД 52.24.405-2005. (**2005**) Массовая концентрация сульфатов в водах. Методика выполнения измерений турбидиметрическим методом.

Роговская П.И., Оргианская Ф.Е. (**1970**) Рекомендации по методам производства анализов на сооружениях биохимической очистки промышленных сточных вод. Стройиздат. Москва: 104.

ФР.1.31.2016.23501 № 88-17641-002-2016. (**2016б**) Методика измерений массовой концентрации хлорид-ионов методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН.

Çetin M., Demirci O. (**2024**) Polluting effects of wastes generated in engine vehicle repair-service businesses, storage, disposal and reuse of wastes. *Quest journal of research in environmental and earth sciences.* **10**(12): 59-65. https://doi.org/10.35629/2532-10125965

Chen Y., Jiang X., Yang M., Wang Z. (**2025**) Biotechnology revival: in situ sludge minimization in wastewater. *Frontiers in microbiology.* **16**: 1603215. https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1603215

Chrysalidis A., Kyzas G.Z. (**2020**) Applied cleaning methods of oil residues from industrial tanks. *Processes*. **8**(5): 569. https://doi.org/10.3390/pr8050569

Hegazy M.H., Rizk O., Hassan A., Ghoneim S.S., Zerouali B., Ali E., Bailek N., Tariq A., Wong Y.J. (**2025**) Excess bio-sludge and contamination load minimisation: A comparative study on conventional activated sludge (CAS) and integrated treatment of CAS–AnMBR for environmental optimisation. *AQUA—Water infrastructure, ecosystems and society*. **74**(1): 1–17. https://doi.org/10.2166/aqua.2024.410

Khokhlov A., Strelko V., Khokhlova L. (**2018**) Physico-chemical features of bioactive carbon sorbents for oil. *Chemistry & Chemical technology*. **12**(3): 337–340. https://doi.org/10.23939/chcht12.03.337

Korshunova T., Kuzina E., Mukhamatdyarova S., Iskuzhina M., Kulbaeva L., Petrova S. (**2024**) Effect of herbicide-resistant oil-degrading bacteria on plants in soil contaminated with oil and herbicides. *Plants*. **13**(24): 3560. https://doi.org/10.3390/plants13243560

Kovrov O., Kulikova D. (**2024**) Development of the oil-contaminated wastewater treatment technology for trucking companies. *IOP Conference series Earth and environmental science*. **1348**(1): 012023. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1348/1/012023

Rosenwinkel K.H., Austermann-Haun U., Köster S., Beier M. (**2020**) Taschenbuch der Industrieabwasserreinigung. Aufl. 2. Vulkan-Verlag GmbH. Essen: 747. ISBN: 978-3-8356-7398-4

Shchemelinina T.N., Anchugova E.M., Kotova O.B., Shushkov D.A. (**2021**) The analcime-bearing rock immobilized microalgae: stress resistance, psychrotolerance, phenol removal. *Bioresource technology*. **322**: 124560. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124560

Truskewycz A., Gundry T.D., Khudur L.S., Kolobaric A., Taha M., Aburto-Medina A., Ball A.S., Shahsavari E. (**2019**) Petroleum hydrocarbon contamination in terrestrial ecosystems – fate and microbial responses. *Molecules*. **24**(18): 3400. https://doi.org/10.3390/molecules24183400

Xu X., Liu W., Tian S., Wang W., Qi Q., Jiang P., Gao X., Li F., Li H., Yu H. (**2018**) Petroleum hydrocarbon-degrading bacteria for the remediation of oil pollution under aerobic conditions: a perspective analysis. *Frontiers in microbiology*. 9: 2885. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02885

Yu L., Xia W., Du H. (**2024**) The toxic effects of petroleum pollutants to microalgae in marine environment. *Marine pollution bulletin*. 201: 116235. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116235

REFERENCES

GOST 23732-2011. (**2011**) Water for concrete and mortar. Standartinform. Moscow. (*In Rus*.)

Kuzina E.V., Rafikova G.F., Mukhamatdyarova S.R., Iskuzhina M.G., Kulbaeva L.A. (**2025**) The effect of elevated concentrations of lead and sodium chloride on the recovery of oil-contaminated soil. Ecobiotech. **8**(2): 235-250. http://doi.org/10.31163/2618-964X/2025-17 (*In Rus*.)

PND F 14.1:2:3:4.121-97 (FR.1.31.2007.03794). (**2004**) Methodological recommendations on the application of performing pH measurements in waters using the potentiometric method. Moscow. (*In Rus*.)

PND F 14.1:2:4.158-2000 (FR.1.31.2014.17189). (**2000**) The method of measuring the mass concentration of anionic surfactants in drinking, natural and wastewater by extraction-photometric method. Moscow. (*In Rus*.)

PND F 14.1:2:4.135-98. (**2008**) A method for measuring the mass concentration of elements in samples of drinking water, natural water, wastewater and atmospheric precipitation by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. Moscow. (*In Rus*.)

PND F 14.1:2:4.254-2009 (FR.1.31.2018.29036). (**2017**) A method for measuring the mass concentrations of suspended solids and calcined suspended solids in samples of drinking, natural and wastewater using the gravimetric method. Moscow. (*In Rus*.)

PND F 14.1:2:4.248-07 (FR.1.31.2016.22975). (**2016a**) A method for measuring mass concentrations of orthophosphates, polyphosphates, and total phosphorus in drinking, natural, and wastewater by photometric method. Moscow. (*In Rus*.)

PND F 14.1:2:4.207-04 (FR.1.31.2007.03807). (**2007**) A technique for measuring the chromaticity of drinking, natural and wastewater using the photometric method. Moscow. (*In Rus*.)

PND F 14.1:2:4.128-98 (FR.1.31.2012.13169). (**2012a**) A method for measuring the mass concentration of petroleum products in samples of natural, drinking, and wastewater using the fluorimetric method on a liquid analyzer "Fluorat-02". Moscow. (*In Rus*.)

HDPE F 14.1:2:4.4-95 (FR.1.31.2013.16009). (**2013**) The method of measuring the mass concentration of nitrate ions in drinking, surface and wastewater by photometric method with salicylic acid. Moscow. (*In Rus*.)

PND F 14.1:2:4.154-99 (FR.1.31.2013.13900). (**2012b**) A method for measuring permanganate oxidizability in samples of drinking, natural and wastewater using the titrimetric method. Moscow. (*In Rus*.)

ORDER No. 296 (**2025**) On Approval of Water Quality Standards for Water Bodies of Fisheries Significance, including Standards for Maximum Permissible Concentrations of Harmful Substances in the Waters of Water Bodies of Fisheries Significance (as amended on 26 May 2025). https://docs.cntd.ru/document/1312976080 (*In Rus*.)

RD 52.24.405-2005. (**2005**) The mass concentration of sulfates in waters. The method of performing measurements by the turbidimetric method. (*In Rus*.)

Rogovskaya P.I., Orgianskaya F.E. (**1970**) Recommendations on methods for the production of analyses at biochemical wastewater treatment plants. Stroyizdat. Moscow: 104. (*In Rus*.)

FR..1.31.2016.23501 № 88-17641-002-2016. (**2016b**) A method for measuring the mass concentration of chloride ions by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. Syktyvkar: IB Komi Scientific Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. (*In Rus*.)

Çetin M., Demirci O. (**2024**) Polluting effects of wastes generated in engine vehicle repair-service businesses, storage, disposal and reuse of wastes. *Quest journal of research in environmental and earth sciences.* **10**(12): 59-65. https://doi.org/10.35629/2532-10125965

Chen Y., Jiang X., Yang M., Wang Z. (**2025**) Biotechnology revival: in situ sludge minimization in wastewater. *Frontiers in microbiology.* **16**: 1603215. https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1603215

Chrysalidis A., Kyzas G.Z. (**2020**) Applied cleaning methods of oil residues from industrial tanks. *Processes*. **8**(5): 569. https://doi.org/10.3390/pr8050569

Hegazy M.H., Rizk O., Hassan A., Ghoneim S.S., Zerouali B., Ali E., Bailek N., Tariq A., Wong Y.J. (**2025**) Excess bio-sludge and contamination load minimisation: A comparative study on conventional activated sludge (CAS) and integrated treatment of CAS–AnMBR for environmental optimisation. *AQUA—Water infrastructure, ecosystems and society*. **74**(1): 1–17. https://doi.org/10.2166/aqua.2024.410

Khokhlov A., Strelko V., Khokhlova L. (**2018**) Physico-chemical features of bioactive carbon sorbents for oil. *Chemistry & Chemical technology*. **12**(3): 337–340. https://doi.org/10.23939/chcht12.03.337

Korshunova T., Kuzina E., Mukhamatdyarova S., Iskuzhina M., Kulbaeva L., Petrova S. (**2024**) Effect of herbicide-resistant oil-degrading bacteria on plants in soil contaminated with oil and herbicides. *Plants*. **13**(24): 3560. https://doi.org/10.3390/plants13243560

Kovrov O., Kulikova D. (**2024**) Development of the oil-contaminated wastewater treatment technology for trucking companies. *IOP Conference series Earth and environmental science*. **1348**(1): 012023. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1348/1/012023

Rosenwinkel K.H., Austermann-Haun U., Köster S., Beier M. (**2020**) Taschenbuch der Industrieabwasserreinigung. Aufl. 2. Vulkan-Verlag GmbH. Essen: 747. ISBN: 978-3-8356-7398-4

Shchemelinina T.N., Anchugova E.M., Kotova O.B., Shushkov D.A. (**2021**) The analcime-bearing rock immobilized microalgae: stress resistance, psychrotolerance, phenol removal. *Bioresource technology*. **322**: 124560. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124560

Truskewycz A., Gundry T.D., Khudur L.S., Kolobaric A., Taha M., Aburto-Medina A., Ball A.S., Shahsavari E. (**2019**) Petroleum hydrocarbon contamination in terrestrial ecosystems – fate and microbial responses. *Molecules*. **24**(18): 3400. https://doi.org/10.3390/molecules24183400

Xu X., Liu W., Tian S., Wang W., Qi Q., Jiang P., Gao X., Li F., Li H., Yu H. (**2018**) Petroleum hydrocarbon-degrading bacteria for the remediation of oil pollution under aerobic conditions: a perspective analysis. *Frontiers in microbiology*. 9: 2885. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02885

Yu L., Xia W., Du H. (**2024**) The toxic effects of petroleum pollutants to microalgae in marine environment. *Marine pollution bulletin*. 201: 116235. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116235

Цитировать как

Щемелинина Т.Н., Анчугова Е.М., Маркарова М.Ю. (**2025**) Перспективные биотехнологии очистки нефтесодержащих вод. *Экобиотех*. **8** (3): 376-386. DOI: 10.31163/2618-964X/2025-26 EDN: KWQVBG

Cited as

Shchemelinina T.N., Anchugova E.M., Markarova M.Yu. (**2025**) Prospective biotechnologies for the treatment of oil-contaminated wastewater. *Ecobiotech*. **8** (3): 376-386. DOI: 10.31163/2618-964X/2025-26 EDN: KWQVBG (In Rus.)

Сведения об авторах

Татьяна Николаевна Щемелинина, к.б.н, Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Сыктывкар, Россия; e-mail: tatyanakomi@mail.ru), SPIN-код: 4746-8542, AuthorID: 609904, ORCID: 0000-0002-4052-6424, Scopus Author ID: 56711948200, WoS Research ID: Q-2391-2015.

Елена Михайловна Анчугова, Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук; Сыктывкар, Россия; e-mail: urosova@gmail.com, SPIN-код: 1060-4896, AuthorID: 609903, ORCID: 0000-0002-7912-3518, Scopus Author ID: 56711975900, WoS Research ID: P-9826-2015.

Мария Юрьевна Маркарова, к.б.н, Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Сыктывкар, Россия; e-mail: myriam@mail.ru, SPIN-код: 9808-8712, AuthorID: 96263, ORCID: 0000-0002-7951-2222, Scopus Author ID: 6507043630, WoS Research ID: ADN-1202-2022.

Information About the Authors

Tatiana N. Shchemelinina, PhD (Biology), Institute of Biology of Komi Science Centre of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia, e-mail: tatyanakomi@mail.ru), SPIN-код: 4746-8542, AuthorID: 609904, ORCID: 0000-0002-4052-6424, Scopus Author ID: 56711948200, WoS Research ID: Q-2391-2015.

Elena M. Anchugova, Institute of Biology of Komi Science Centre of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia, e-mail: urosova@gmail.com, SPIN-код: 1060-4896, AuthorID: 609903, ORCID: 0000-0002-7912-3518, Scopus Author ID: 56711975900, WoS Research ID: P-9826-2015.

Maria Yu. Markarova, PhD (Biology), Institute of Biology of Komi Science Centre of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia, e-mail: myriam@mail.ru, SPIN-код: 9808-8712, AuthorID: 96263, ORCID: 0000-0002-7951-2222, Scopus Author ID: 6507043630, WoS Research ID: ADN-1202-2022.