

Муниципальное бюджетное учреждение дополнительного образования
«Детский эколого-биологический центр «Росток»
«Средняя общеобразовательная школа №106»
г. Воронеж

Определение биоразлагаемости ПАВ сточных вод автомоек

Исследовательская работа

Автор: Корлыханова Арина,
учащаяся 10 «А» класса

Руководители: Головкина О. А. учитель химии,
Беспалова О. А. педагог доп. образования,

Научный консультант: Студеникина Л. Н, к.т.н., доцент
кафедры промышленной экологии ВГУИТ

Воронеж-2026

Содержание

Введение.....	3
Глава 1. Литературный обзор.....	4
Глава 2. Практическая часть	7
Исследование № 1. Определение биоразлагаемости ПАВ отработанных вод автомоек	7
Исследование №2. Определение рН сточных вод в речной воде с илом.....	9
Заключение	10
Литературные источники	11
Приложение	12

Введение

Актуальность исследования

ПАВ очень трудно ассимилируются водной средой и неблагоприятно изменяют состояние водоемов. На их окисление расходуется много растворенного кислорода, а это сокращает распад в воде вредных примесей. В идеале автомойка должна устанавливать систему очистки воды и контролировать ее качество (прописано в законодательстве). Сточные воды проходят очистку на локальных очистных сооружениях автомойки: нефтеловушках, песколовках. Как быть с ПАВ сточных вод, для разложения которых нужно время? Как решается эта проблема? В настоящее время в Воронежской области не принято разрешение на эксплуатацию автомоек только с замкнутым циклом.

Цель работы: исследовать биоразлагаемость ПАВ сточных вод автомоек.

Задачи: провести титрование и определить ХПК (химическое потребление кислорода) сточных вод автомоек; сравнить биоразлагаемость ПАВ образцов; исследовать рН растворов вод автомоек в воде реки Дон.

Исследования проводились на лабораторном оборудовании кафедры промышленной экологии ВГУИТ в 2025-2026 учебном году.

Объект исследований: сточные воды автомоек в речной воде с илом (Приложение, рис.№1)

Предмет исследования: ПАВ

Методы исследования: титрование ХПК (ПНД Ф 14.1:2.100-97) «Количественный химический анализ воды. Методика выполнения измерений химического потребления кислорода в пробах природных и очищенных сточных вод титриметрическим методом»), измерения (рН датчиком Vernier)

Глава 1. Литературный обзор

Моющие средства для автомоек включают несколько ключевых компонентов: поверхностно-активные вещества (ПАВ), щелочные агенты для удаления жиров и масел, органические растворители, хелатирующие агенты для смягчения воды, ароматизаторы и красители. ПАВ это органические вещества, которые имеют амфифильную структуру: гидрофильная "голова" и гидрофобный "хвост". За счет этого поверхностное натяжение воды снижается, что обеспечивает удаление загрязнений. ПАВ образуют мицеллы, которые окружают частицы грязи и масла, которые легче смываются водой. В автомойках ПАВ составляют от 10% до 30% состава моющих средств, удаляя дорожные загрязнения и нефтепродукты. [1]

В зависимости от типа активного действующего вещества в составе, моющие средства подразделяются на: щелочные – используются против грязи и органических загрязнений, следов асфальта, масляно-жировых и смоляных пятен; кислотные – применяются для удаления минеральных загрязнений, песка и глины с поверхностей автомобилей. Единственный недостаток – их неэффективность против масел, следовательно их использование в качестве самостоятельных препаратов возможно только с щелочным раствором в процессе двухэтапного мытья; с содержанием ПАВ – полностью растворяют любые загрязнения и эмульгируют масляные пятна. Эффективность воздействия моющего вещества зависит от степени концентрации поверхностно-активных веществ: она может составлять от 5 до 30%. Щелочные моющие средства-шампуни используют на автомойках при сильном загрязнении автомобиля. Однако, чем выше pH, тем сильнее воздействие на хромированные детали автомобиля. Кислотные шампуни не наносят вреда защитным покрытиям автомобиля. Если загрязнения жирные – масло, сажа, отпечатки рук, то для деликатной мойки лучше подойдет pH-нейтральный шампунь. [1]

Классификация СПАВ по химической структуре: анионные СПАВ, которые наиболее распространены в автомойках (60-70% рынка). Включают алкилсульфаты, алкилбензолсульфонаты (АБС). Отрицательно заряженная

гидрофильная группа. У них высокая очищающая способность, но низкая биоразлагаемость. Катионные СПАВ, амфотерные ПАВ содержат как положительные, так и отрицательные заряженные группы. Они также имеют высокую очищающую способность, но лучшее биоразложение, редко используются в автомойках из-за высокой стоимости. [2]

Биоразлагаемость – способность вещества разлагаться под действием микроорганизмов. Согласно Директиве ЕС 648/2004 и ГОСТ 32509-2013, СПАВ должны иметь биоразлагаемость не менее 60% за 28 дней для признания их безопасными (приложение, таблица №1) [2]

ПАВ нарушают клеточные мембраны водных организмов, вызывая гибель планктона (при концентрации >1 мг/л), повреждение жабр рыб (при концентрации >5 мг/л), нарушение осморегуляции у беспозвоночных животных. Хроническое воздействие – снижение репродуктивной способности, нарушение эндокринной системы, биоаккумуляция в тканях позвоночных животных. [3]

Многие автомойки подключены к ливневой системе, которая не предусматривает очистку. Стоки попадают напрямую в реки и водоемы Воронежской области. Инфильтрация в грунт на площадках без твердого покрытия позволяет воде просачиваться в почву, тем самым нанося вред грунтовым водам, которые питают поверхностные водоемы. Поверхностный сток при отсутствии ограждений и дренажных систем загрязненная вода стекает по рельефу в ближайшие водные объекты. По данным Воронежского ЦГМС, качество воды в Дону оценивается как "загрязненная" (3 класс). Основные загрязнители: ПАВ, тяжелые металлы. Воронежское водохранилище страдает от эвтрофикации, особенно в летний период. [5]

В Воронеже и области работает около 450 автомоечных комплексов, из которых значительная часть – небольшие частные предприятия. По оценкам природоохранных органов, до 30% автомоек сбрасывают недостаточно очищенные стоки либо в ливневую канализацию, либо непосредственно в грунт. При среднем потреблении 150 л на мойку и 50 автомобилях в день, суммарный

объем стоков составляет около 24 тысяч кубометров в год только в Воронежской области. [6]

"В 2021 году в реке Воронеж было зафиксировано превышение ПДК по СПАВ – в 4,2 раза, по нефтепродуктам – в 3,8 раза. Одним из источников загрязнения были признаны автомойки, работающие без очистных сооружений." Роспотребнадзор регулярно фиксирует превышение нормативов качества воды в водозаборах Воронежской области. В 2022 году 18% проб воды из поверхностных источников не соответствовали санитарным требованиям. Воронежское водохранилище, обеспечивающее питьевой водой более 1 миллиона человек, находится под угрозой загрязнения. В створах водозабора периодически регистрируются превышения ПДК по СПАВ до 2 раз. [7]

Экологические требования при эксплуатации автомойки включают требования повторное использование сточных вод за счет фильтрации, регулярный контроль качества очистки сточных вод. Сброс отходов в канализационные стоки без специальной очистки категорически запрещен. Раз в месяц сточные воды должны проверять специалисты аккредитованной лаборатории. [8]

Глава 2. Практическая часть

Исследование № 1. Определение биоразлагаемости ПАВ отработанных вод автомоек

Методика выполнения работы

Определение ХПК. 1 см³ модельного стока перенести в колбу на 250 мл, добавить 2,5 см³ раствора K₂Cr₂O₇, затем 2,5 см³ H₂SO_{4(к)}. Через 5 минут после остывания к смеси добавить 100 см³ дистиллированной воды и 10-15 капель фенилантраниловой кислоты. Полученную смесь оттитровать раствором соли Мора до резкого изменения окраски от красно-фиолетового до мутного зеленого цвета. Для холостого опыта использовать 1 см³ дистиллированной воды. Расчет показателя ХПК проводится по формуле:

$$\text{ХПК} = \frac{(A-B) \cdot N \cdot 8 \cdot 1000}{V}, \text{ мг O}_2/\text{дм}^3,$$

где А - объем соли Мора, израсходованный на титрование в холостом опыте, см³;

В - объем соли Мора, израсходованный на титрование анализируемой пробы, см³;

N - нормальность раствора соли Мора (0,25 моль/дм³);

8 - масса миллиграмм-эквивалента кислорода, мг;

V - объем анализируемой пробы, см³.

Ход работы:

1. Набрали по 50 мл сточных вод автомоек (образец №1 – моющее средства бесконтактной мойки №1, образец №2 – моющее средства бесконтактной мойки №2) и речной воды (Приложение, рис. №2)
2. 1 см³ модельного стока двух образцов и дистиллированной воды (для холостой пробы) налили в колбы на 250 мл.
3. Добавили по 2,5 см³ раствора K₂Cr₂O₇ в каждую колбу.
4. Медленно, по стенке колбы, влили в каждую колбу по 2,5 см³ концентрированной серной кислоты. Произошла экзотермическая реакция

5. Через 5 минут после остывания в каждую из колб добавили по 100 см³ дистиллированной воды и 10-15 капель фенилантраниловой кислоты (Приложение, рис. №3). Растворы поменяли окрас на красно-фиолетовый (Приложение, рис. №4)
6. Заполнили бюретку 5 мл раствором соли Мора
7. Оттитровали каждую пробу до резкого изменения окраски от красно-фиолетового до мутного зеленого цвета (Приложение рис. №5, №6)
8. Для холостого опыта использовали 1 см³ дистиллированной воды
9. Записали потраченный объем титранта (Приложение, табл. №2)
10. Рассчитали ХПК по формуле
$$\text{ХПК} = \frac{(A-B) \cdot N \cdot 8 \cdot 1000}{V}$$
, получили

результаты:

Образец №1: ХПК = 800 мг О₂/дм³

Образец №2: ХПК = 600 мг О₂/дм³

11. В получившиеся образцы добавили воду с илом из реки Дон в пропорции 1:1. Следовательно,
 - образец №1: ХПК = 400 мг О₂/дм³
 - образец №2 ХПК= 300 мг О₂/дм³

12. Через 10 дней образцы, смешанные с речной водой с илом оттитровали и получили значения:

Образец № 1: ХПК=300 мг О₂/дм³

Образец №2: ХПК=100 мг О₂/дм³

В применяемом методе шаг определения ХПК=100

Вывод: на 10 дней пребывания ПАВ в речной воде с илом при титровании ХПК, в сравнении с предыдущим расчетом, уменьшилось на 100 мг О₂/дм³(образец №1), на 200 мг О₂/дм³(образец №2). Следовательно произошло частичное биоразложение ПАВ. При изменении ХПК до 0 мг О₂/дм³ ПАВ полностью бы разложились, но этого не произошло. Продолжительность индукционного периода нашли из зависимостей ХПК от времени (согласно

стандартам ГОСТ 32509 , приложение, табл. №1) ПАВ образцов №1 и №2 являются медленно разлагаемыми.

Исследование №2. Определение рН сточных вод в речной воде с илом

1. Налили пипеткой по 20 мл сточные воды образцов №1, №2 в 4 химических стакана.
2. Добавили в 2 стакана пипеткой по 20 мл речной воды с илом.
3. Аналогично добавили по 20 мл дистиллированной воды в образцы №1 и №2 мл – образцы контроль.
4. Определяли рН с помощью датчика Vernier (приложение, рис. №7) в течение 14 дней
5. Результаты занесли в таблицу (Приложение, табл. №4)

Вывод: Начальное рН раствора сточных вод в речном иле в образце №1 – 8,56 (в контроле №1 – 8,56), изменяется до 8,02. Начальное рН раствора сточных вод в речном иле в образце №2 – 8,48 (в контроле №2 – 8,48), изменяется до 7,98.

Заключение

В ходе работы определили, что оба образца ПАВ являются медленно разлагаемыми (По ГОСТ 32509). В ходе титрования определили ХПК образца №1 составляет 400 мг $O_2/дм^3$, образца №2 составляет 300 мг $O_2/дм^3$. На 10 день исследования ПАВ в речной воде с илом при титровании ХПК образца №1 составил 300 мг $O_2/дм^3$, образца №2 – 100 мг $O_2/дм^3$. Уменьшение показателей ХПК (между первым и десятым днём исследования) в образце №1 100 мг $O_2/дм^3$, в образце №2 200 мг $O_2/дм^3$. Следовательно произошло частичное биоразложение ПАВ. Продолжительность индукционного периода нашли из зависимостей ХПК от времени.

Начальное рН раствора сточных вод в речном иле в образце №1 – 8,56 (в контроле №1 – 8,56), изменяется до 8,02. Начальное рН раствора сточных вод в речном иле в образце №2 – 8,48 (в контроле №2 – 8,48), изменяется до 7,98. Незначительное изменение рН в исследуемых образцах №1 и №2 указывает на медленное окисление ПАВ. На 7 день исследования в образцах контроля №1 и №2 появляется помутнение, неприятный запах. В образцах №1 и №2 с речной водой с илом на 14 день исследования появляется помутнение, запах отсутствует, что указывает на потерю очистных свойств речной воды с илом.

Литературные источники

1. "Средства моющие синтетические для мойки автотранспорта" [ГОСТ Р 52485-2005] // Российский химический журнал. – 2021. – №2 – с.45- 56
2. Коллоидная химия. Щукин, Е. Д. Коллоидная химия : учебник для вузов / Е. Д. Щукин, А. В. Перцов, Е. А. Амелина. — 7-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020
3. Хренов С. А. Экологическая безопасность моющих средств // Экология и промышленность России. — 2022
5. Доклад о состоянии окружающей среды Воронежской области за 2022 г. / Воронежский ЦГМС. — Воронеж, 2022. - 202с.
6. Управление Росприроднадзора по Воронежской области. Отчёт о состоянии окружающей среды Воронежской области за 2023 г. / Управление Росприроднадзора по Воронежской области. — Воронеж, 2023. — 7 с.
7. Бюллетень мониторинга состояния окружающей среды Воронежской области за 2022 год / Воронежский ЦГМС. — Воронеж, 2022. — 3 с.
8. Израэль, Ю. А. Антропогенная экология океана / Ю. А. Израэль, А. В. Цыбань. — Л. : Гидрометеиздат, 1989. — 528 с. : ил. — 1200 экз. — ISBN 5-286-00147-5.

Приложение

Таблица №1 Категории биоразлагаемости СПАВ

Класс биоразлагаемости ПАВ	Продолжительность индукционного периода $T_{инд}$, сут	Рекомендуемые способы отчистки ПАВ-содержащих стоков	
		биологические	физико-химические
1-й -быстро разлагаемые	До 3 включ.	+	-
2-й -умеренно разлагаемые	Св. 3 до 10 включ.	+	-
3-й -медленно разлагаемые	Св.10 до 25 включ.	±	+
4-й-чрезвычайно медленно разлагаемые	Св. 25	-	+

Таблица №2 Потраченный объем титранта

Вид образца	Холостая проба	Образец № 1	Образец №2
$V_{(мл)}$ объём титранта	3,9	3,6	3,5

Таблица №3 Результаты определения pH раствора отработанной воды в речном иле

Дни исследования										
№ образца	1 день		4 день		7 день		10 день		14 день	
	№1	№2	№1	№2	№1	№2	№1	№2	№1	№2
pH	8,56	8,48	8,22	8,36	7,42	8,12	7,39	7,6	8,02	7,98



Рис.1 Применение образца №2



Рис.№2 Исследуемые образцы №1, №2



Рис. №3 Добавление фенилантраниловой кислоты



№4 Появление красно-фиолетового цвета растворов



Рис. №5 Титрование

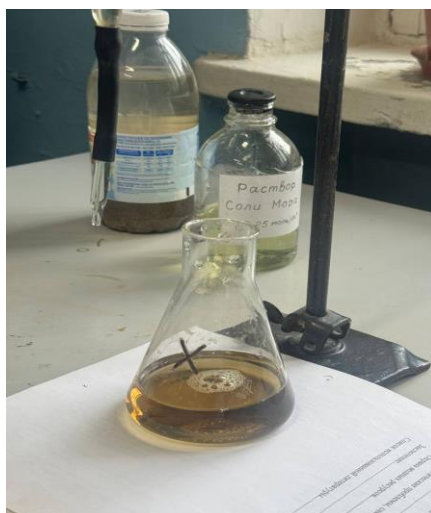


Рисунок №6 Смена цвета в ходе титрования



Рис. № 7 Измерение pH датчиком Vernier

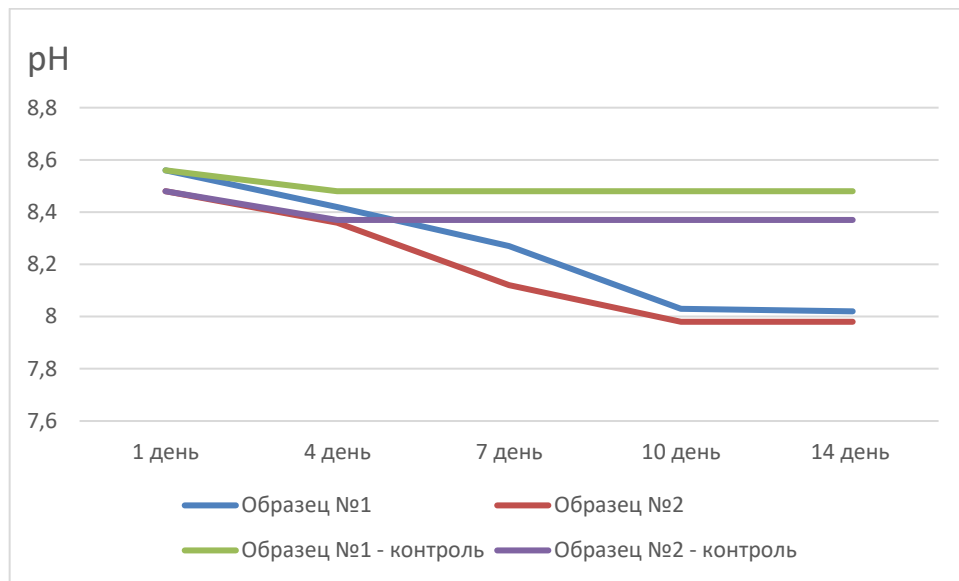


Рис. 8 Графики pH растворов образцов №1, №2 и контролей №1, №2