

УДК 574.685

## Исследование возможности очистки сточных вод с применением микроводорослей *Chlorella vulgaris*

Тюменцева Мария Владимировна<sup>(\*)</sup>tmv@bmstu.ru  
SPIN-код: 6392-9471

Ксенофонтов Борис Семенович

ksenofontov@bmstu.ru  
SPIN-код: 1733-9911

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

**Аннотация.** Изучена возможность очистки сточных вод авиационного двигателестроительного предприятия с помощью микроводоросли *Chlorella vulgaris*. Определена оптимальная доза микроводорослей, обеспечивающая эффективное удаление азота и фосфора — 0,2 л/л. Лабораторные эксперименты выявили наличие оптимальной дозы микроводорослей, при которой степень очистки максимальна. Как недостаточная, так и избыточная концентрация, приводит к снижению эффективности процесса. Биологическая очистка с использованием микроводорослей является перспективным направлением для решения проблем очистки промышленных сточных вод.

**Ключевые слова:** биогенные элементы, очистка сточных вод, микроводоросли *Chlorella*, культивирование, биоочистка, *Chlorella vulgaris*

## Investigation of the possibility of wastewater treatment using microalgae *Chlorella vulgaris*

Tyumentseva Maria Vladimirovna<sup>(\*)</sup>tmv@bmstu.ru  
SPIN-code: 6392-9471

Ksenofontov Boris Semenovich

ksenofontov@bmstu.ru  
SPIN-code: 1733-9911

BMSTU, Moscow, Russia

**Abstract.** The possibility of wastewater treatment of an aircraft engine-building enterprise using microalgae *Chlorella vulgaris* has been studied. The optimal dose of microalgae has been determined, ensuring effective removal of nitrogen and phosphorus — 0.2 l/l. Laboratory experiments have revealed the presence of an optimal dose of microalgae, at which the degree of purification is maximum. Both insufficient and excessive concentration lead to a decrease in the efficiency of the process. Biological treatment using microalgae is a promising direction for solving the problems of industrial wastewater treatment.

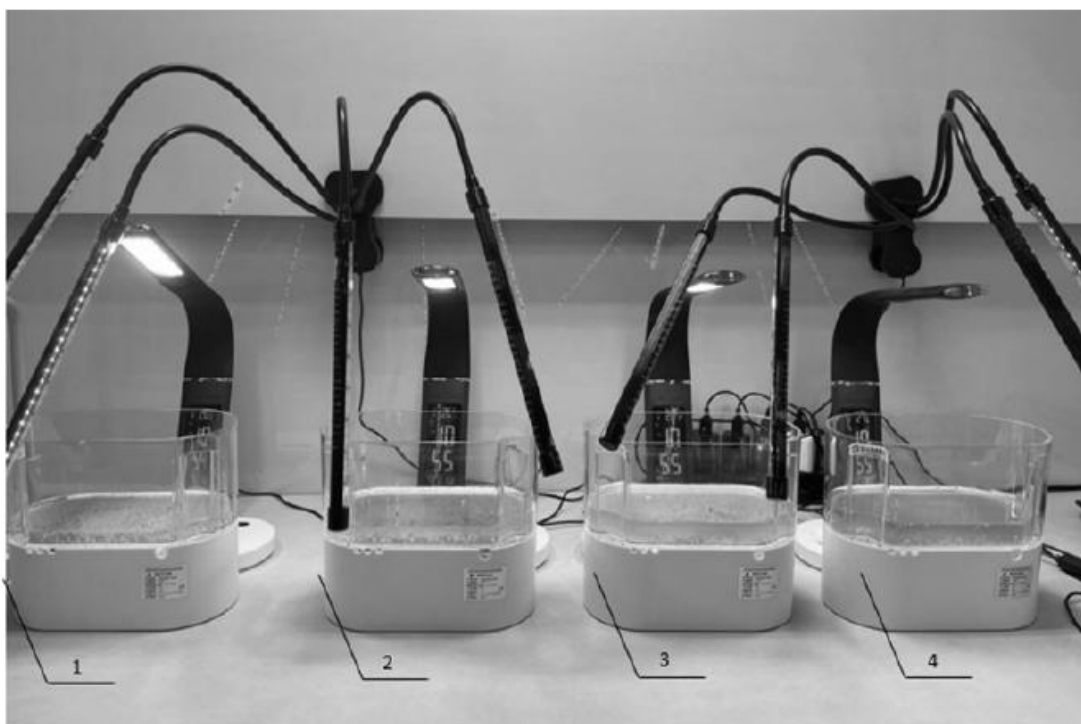
**Keywords:** biogenic elements, wastewater treatment, *Chlorella* microalgae, cultivation, biotreatment, *Chlorella vulgaris*

**Введение.** Загрязнение сточных вод — экологическая проблема, приводящая к ухудшению качества водоемов. Кроме того, к снижению качества воды, а также эвтрофикации водоемов приводит повышенное содержание биогенных

элементов — азота и фосфора. Альтернативой традиционным дорогостоящим методам является биологическая очистка с помощью микроводорослей, способных эффективно удалять азот, фосфор и органику [1, 2]. Несмотря на положительные результаты ряда исследований по доочистке воды биологическими методами, в том числе с использованием микроводорослей *Chlorella vulgaris*, вопрос влияния дозы микроводорослей на качество очистки требует дополнительного изучения [3–5]. Экспериментально исследована эффективность использования *Chlorella vulgaris* для очистки сточных вод авиадвигателестроительных предприятий с целью выявления оптимальной дозы микроводорослей.

**Материалы и методы исследования.** В ходе эксперимента были приготовлены четыре образца сточной воды объемом 1 литр каждый. Контрольный образец содержал исходную сточную воду без добавления микроводорослей, остальные три опытных образца (№ 1–3) включали различные концентрации суспензии *Chlorella*: 175 мл/л (образец № 1), 200 мл/л (образец № 2) и 250 мл/л (образец № 3). Все образцы были помещены в идентичные условия культивирования. Интенсивность общего освещения поддерживалась на уровне 5300 лс интенсивность инфракрасной составляющей — 1000 лк. Для анализа качества очистки определялась мутность с помощью турбидиметра Nach 2100 (погрешность  $\pm 2\%$ ), содержание нитритов, нитратов и фосфатов измерялось с использованием полевой лаборатории НКВ-1 (погрешность  $\pm 10\%$ ).

**Результаты.** В ходе эксперимента были подготовлены четыре образца сточной воды объемом 1 л в соответствии с рис. 1.



**Рис. 1.** Опытные образцы:

1 — контрольный образец (1 л); 2 — опытный образец № 1 (концентрация *Chlorella* 175 мл/л); 3 — опытный образец № 2 (концентрация *Chlorella* 200 мл/л); 4 — опытный образец № 3 (концентрация *Chlorella* 250 мл/л)

Результаты измерения мутности исследуемых образцов в течение всего эксперимента представлены на рис. 2.

Анализ полученных данных показал, что максимальная степень снижения мутности во всех исследованных образцах была достигнута на шестой день измерений. При этом в образце № 3 снижение мутности относительно контрольного образца без *Chlorella* сохранялось в течение трех последующих дней. Однако после шестого дня наблюдался рост мутности во всех образцах. В контрольном образце увеличение мутности можно связать с естественными процессами. В опытных образцах повышение мутности происходило из-за завершения процесса очистки воды и начала этапа активного культивирования микроводорослей. К концу эксперимента в образцах № 2 и 3 значения мутности практически совпадали в пределах допустимой погрешности. Образец № 1 демонстрировал несколько меньшую мутность, что объясняется более низкой начальной концентрацией микроводорослей в данном образце.

Результаты измерения нитратов в исследуемых образцах в течение всего эксперимента представлены на рис. 3.

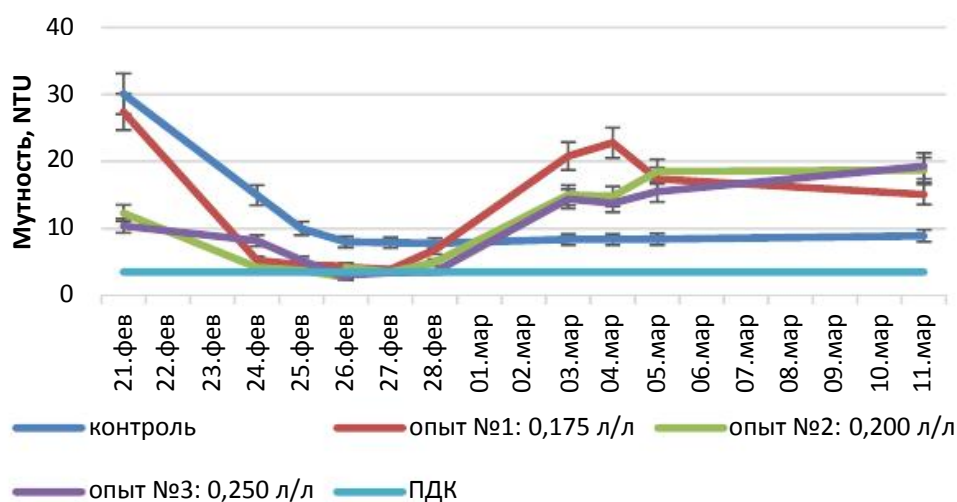


Рис. 2. Результаты измерения мутности

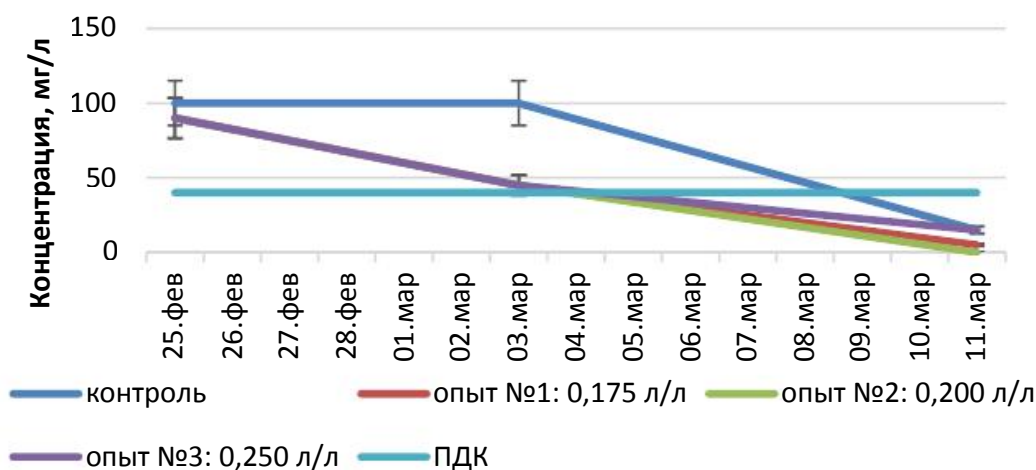


Рис. 3. Содержание нитрат-ионов

Анализ полученных данных продемонстрировал, что спустя десять дней эксперимента отмечалось значительное снижение концентрации нитрат-ионов в опытных образцах по сравнению с контрольным. Дальнейшее наблюдение показало постепенное уменьшение содержания нитратов во всех исследуемых образцах, однако наибольшей эффективности достиг опытный образец № 2, содержащий 200 мл/л *Chlorella*, где уровень нитрат-ионов опустился до минимально возможных значений.

Результаты измерения нитрит-ионов в исследуемых образцах в течение всего эксперимента представлены на рис. 4.

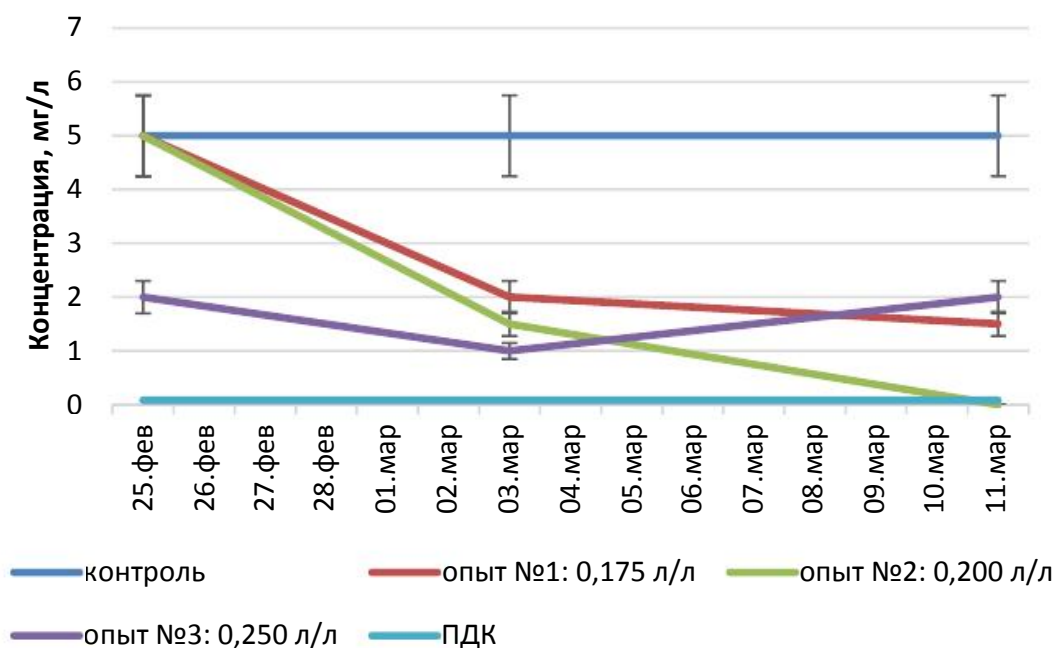


Рис. 4. Содержание нитрит-ионов

Результаты измерений содержания нитрит-ионов согласуются с выводами, полученными в ходе экспериментов по определению уровня нитрат-ионов в исследуемых образцах. Снижение концентрации нитрит-ионов началось на десятый день эксперимента. Максимальное снижение содержания нитрит-ионов до нулевой концентрации было зафиксировано в образце № 2, который показал наилучшие результаты среди всех исследуемых вариантов. Повышение концентрации нитрит-ионов в образце № 3, обусловлено началом процесса разложения микроводорослей. Образец № 3 имел наибольшую дозу микроводорослей *Chlorella*, что могло привести к ускоренному снижению питательных элементов, необходимых для поддержания жизнедеятельности клеток. В результате, недостаточное количество питательной среды способствовало началу разложения микроводорослей, что, в свою очередь, могло вызвать увеличение уровня нитрит-ионов в среде. Результаты измерения фосфатов в исследуемых образцах в течение всего эксперимента представлены на рис. 5.

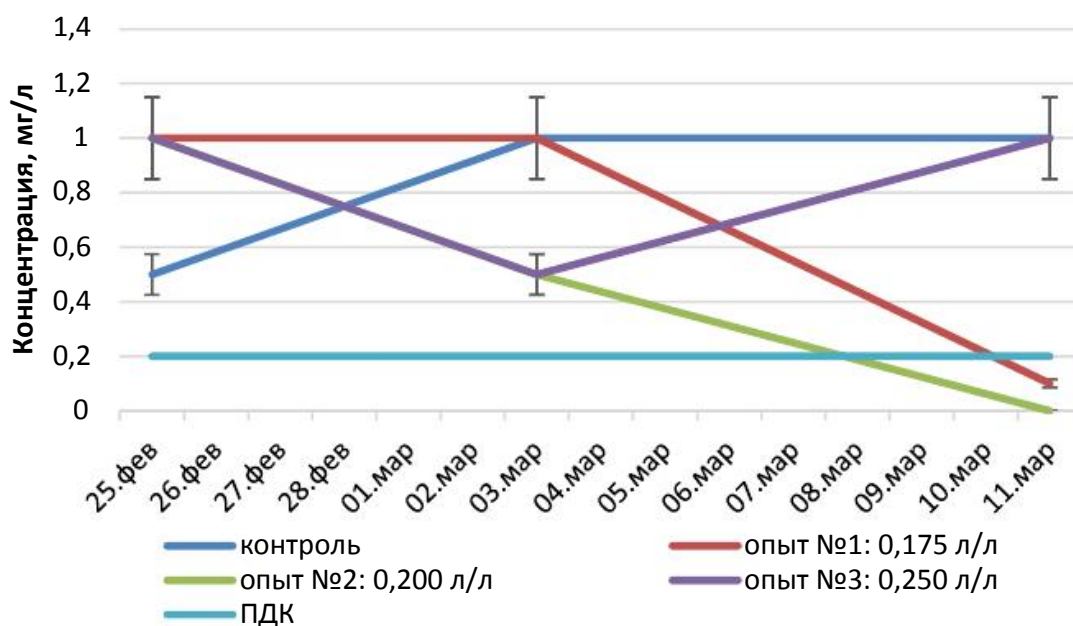


Рис. 5. Содержание фосфат-ионов

Образец № 3 продемонстрировал наиболее высокую эффективность в снижении концентрации фосфатов среди всех исследуемых образцов за минимальный промежуток времени — 10 дней. Тем не менее, в образце № 3 после 10 дней наблюдалось увеличение содержания фосфатов, что может быть связано с наибольшей концентрацией микроводорослей в данном образце по сравнению с остальными. По завершении эксперимента образец № 2 показал наилучшее снижение данного показателя, что свидетельствует о высокой степени очистки воды в этом варианте.

**Обсуждение полученных результатов.** Максимальное снижение мутности зарегистрировано на шестой день, после чего начался небольшой рост, вызванный размножением микроводорослей, наиболее заметно проявившийся в образце № 3 (250 мл/л *Chlorella*). Динамика снижения нитрат-ионов показала наибольшую эффективность в образце № 2 (200 мл/л *Chlorella*), где потребление азота микроорганизмами обеспечило оптимальный баланс скорости очистки и длительности процесса. Аналогично снижались и нитрит-ионы, достигнув наименьших значений в образце № 2. Увеличение концентрации нитритов в образце № 3 после десятого дня вызвано разложением избытка водорослей. Фосфат-ионы быстрее всего удалялись в образце № 3, хотя последующее накопление фосфора снижает устойчивость системы. Таким образом, оптимальным представляется использование средней дозы *Chlorella* (0,2 л/л) для долговременной и эффективной очистки сточных вод.

**Выводы.** На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Для достижения максимальной эффективности очистки сточных вод рекомендуется использовать концентрацию микроводорослей *Chlorella* 0,2 л/л. Образцы с данной концентрацией продемонстрировали наилучший результат по снижению мутности и удалению биогенных элементов.

2. Наблюдалось снижение уровней нитрат- и нитрит-ионов, а также фосфатов в опытных образцах, особенно в образце № 2 (0,2 л/л *Chlorella*), что подтверждает высокую эффективность выбранной концентрации. Однако избыточная концентрация микроводорослей может приводить к повышению уровня биогенных элементов из-за недостатка питательных веществ и начала процесса разложения клеток.

2. Оптимальным сроком для проведения биоочистки является период около 10 дней, после которого начинается фаза культивирования микроводорослей, приводящая к увеличению мутности и изменению химического состава воды.

### Список источников

- [1] Ксенофонтов Б.С. Парниковые газы: утилизация с использованием биотехнологических установок. Москва, НИЦ ИНФРА-М, 2023, 225 с.
- [2] Ahn J.Y., Sim S.J., Lee J.S., Kim B.V. Obtaining hydrocarbons from recycled wastewater from pigsties of the green algae *Botryococcus Braunii*. Application, 2003, vol. 15, pp. 185–191.
- [3] Kim J., Lingaraja B.P., Rem R., Lee J.Y., Siddiqui K.F. Removal of ammonia from wastewater by *Chlorella vulgaris*. Tsinghua Science. Technology, 2010, vol. 15, pp. 391–396.
- [4] Kohn K.H., Li L., Martinez B., Chen P., Ruan R. Cultivation of microalgae *Chlamydomonas Reinhardtii* in wastewater for the production of raw materials from biomass. Adj. Biochemistry. Biotechnology, 2010, vol. 160, pp. 9–18.
- [5] Aslan S., Kaplan I.K. Periodic kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae. Ecol. Eng., 2006, vol. 28, pp. 64–70.