

Оригинальная статья

УДК 628.35

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-3-262-271>

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ *CHLORELLA SOROKINIANA* (CHLORELLACEAE, CHLORELLALES) ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПИВОВАРЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Н. В. Зибарев, Н. А. Политаева , М. Ю. Андрианова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29

Поступила в редакцию 16.06.2021 г., после доработки 19.07.2021 г., принята 27.08.2021 г.

**Аннотация.** Представлены экологические проблемы пивоваренного производства. Изучены литературные данные по способам очистки вод с применением микроводорослей. Показано, что состав сточных вод в пивоваренной промышленности состоит из биогенных элементов азота, фосфора и калия, которые необходимы для культивирования биомассы микроводорослей, поэтому сточные воды возможно использовать как основу для создания питательной среды культивирования микроводорослей. В экспериментальной части изучали влияние различного разбавления суспензии микроводорослей *Chlorella sorokiniana* (X), выращенных на питательной среде с неочищенными сточными водами пивоваренной промышленности (СВ). Изучали различные соотношения СВ к суспензии микроводорослей в процентном соотношении 70:30, 50:50, 30:70 на способность поглощать из СВ азот, органический и неорганический углерод, изменять величину pH. Представлены зависимости скорости роста микроводорослей при различном процентном соотношении добавки СВ пивоваренной промышленности и питательной среды. Показано, что при соотношении 30:70 эта зависимость характерна для стандартной кривой роста культуры микроорганизмов. Прослеживаются лаг-фаза, фазы экспоненциального роста и отмирания. При отношении 70:30 очевидно пагубное влияние стоков на рост микроводорослей: на третьи сутки происходит их гибель, зеленый раствор приобретает коричневую окраску, что подтверждает гибель клеток микроводорослей. Показано, что оптимальным соотношением является 30:70, при данном соотношении не происходит гибели биомассы, она хорошо растет, используя загрязняющие вещества для своего питания. Цвет раствора после культивирования имел ярко-зеленую окраску, что соответствует цвету здоровых клеток. При соотношении 30:70 происходит очистка сточных вод по общему азоту до 70%, для органического углерода – до 90%. Величина pH сменяется с кислого значения до нейтрального.

**Ключевые слова:** *Chlorella sorokiniana*, очистка сточных вод, пивоваренная промышленность

**Для цитирования.** Зибарев Н. В., Политаева Н. А., Андрианова М. Ю. Использование микроводорослей *Chlorella sorokiniana* (Chlorellaceae, Chlorellales) для очистки сточных вод пивоваренной промышленности // Поволжский экологический журнал. 2021. № 3. С. 262 – 271. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-3-262-271>

 Для корреспонденции. Высшая школа гидротехнического и энергетического строительства Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

ORCID и e-mail адреса: Зибарев Никита Васильевич: <https://orcid.org/0000-0002-8710-6304>, [ij1995@yandex.ru](mailto:ij1995@yandex.ru); Политаева Наталья Анатольевна: <https://orcid.org/0000-0002-5914-6210>, [politaevana1971@gmail.com](mailto:politaevana1971@gmail.com); Андрианова Мария Юрьевна: <https://orcid.org/0000-0001-5723-851X>, [andrianova\\_myu@spbstu.ru](mailto:andrianova_myu@spbstu.ru).

## ВВЕДЕНИЕ

Водоросли широко распространены и обнаружены на всех континентах нашей планеты. Водоросли живут в основном в водной среде – в лужах, ручьях, реках, озерах, морях и океанах, но встречаются они и в почве и на ее поверхности, на скалах, стволах деревьев, внутри известнякового субстрата, в воздухе, горячих источниках, а также во льдах. В водоемах как создатели органического вещества эти низшие растения являются первым звеном пищевых цепей. Водоросли считаются калорийной пищей для водных животных – червей, ручейников и моллюсков. Некоторые пресноводные водоросли являются съедобными и для людей. Во многих странах мира для пищевых и косметических целей культивируются водоросли, относящиеся к родам *Chlorella* и *Arthrospira*.

В водной среде водоросли продуцируют свободный кислород и играют значительную роль в общем балансе кислорода на Земле.

Водоросли – это организмы, которые могут оказывать отрицательное действие. Так, например, сине-зеленые водоросли агрессивно поглощают кислород, вытесняя другие живые организмы из водных объектов, тем самым загрязняя реки. В то же время водоросли используют загрязняющие вещества для роста биомассы, тем самым очищая водные объекты. Обогащая водную среду кислородом, микроводоросли способствуют ускорению окислительных процессов и минерализации органических примесей (Субботина и др., 2015). Способность водорослей поглощать биогенные вещества и микроэлементы в процессе своего культивирования широко используется для очистки сточных вод. Очистка сточных вод с использованием микроводорослей обладает рядом преимуществ, таких как генерация биомассы, пригодной для конверсии в биотопливо и биодобавки (Щербаков, 2017).

Сточные воды пивоваренной промышленности содержат сравнительно большое количество биогенных элементов: азота, фосфора и калия. Показатели, характеризующие загрязнение сточных вод, – окисляемость, БПК<sub>5</sub> и содержание взвешенных веществ – в среднем в два раза выше, чем в типичных городских стоках, но на отдельных предприятиях они могут быть несколько меньшими, а на других – в несколько раз большими. Загрязняющие вещества, поступая в природные воды, вызывают изменение физических свойств среды (нарушение первоначальной прозрачности и окраски, появление неприятных запахов и привкусов и т.п.); изменение химического состава, в частности, появление в ней вредных веществ; появление плавающих веществ на поверхности воды и отложений на дне; сокращение в воде количества растворенного кислорода вследствие расхода его на окисление поступающих в водоем органических веществ; появление новых бактерий, в том числе и болезнетворных. Особо пагубно снижение количества кислорода влияет на рыб, водоплавающих птиц, животных и другие организмы, которые заболевают и гибнут в больших количествах. Поэтому сброс сточных вод вообще и пивоваренной промышленности в частности без очистки не допустим. В то же время состав сточных вод пивоваренной промышленности состоит из биогенных элементов (азота, фосфора и калия), которые необходимы для культивирования биомассы микроводорослей. Поэтому сточные воды пивоваренной промышленности можно использовать как основу для создания питательной среды культивирования микроводорослей (Политаева и др., 2017).

Использование микроводорослей для биологической очистки стоков изучено многими исследователями (Akhtar et al., 2008; Zhou et al., 2012; Moheimani et al., 2015; Ardila et al., 2017; Smyatskaya et al., 2019). Akhtar с соавторами (2008) изучали извлечение ионов тяжелых металлов – меди, никеля, кадмия – из питьевых вод *C. sorokiniana*, иммобилизованной на вытяжке из водорослей ламинарии. Использовали растворы с концентрациями от 5 до 350 мг/л, pH 3 – 7. Было установлено, что оптимальное время контакта биосорбента с модельным раствором составляет 180 мин.

В работе Ardila с соавторами (2017) клетки *Chlorella sorokiniana* иммобилизовали на спонже из люфы для извлечения ионов хрома. Губка из люфы была предварительно подготовлена кипячением в дистиллированной воде с последующей промывкой. Внедрение микроводорослей проводили в течение 24 дней. В дальнейшем образцы использовали для извлечения ионов хрома из модельных растворов. Эффективность извлечения ионов хрома (III) составила 98%, сорбционная емкость 69.9 мг/г. Была доказана возможность многократного использования (не менее 5 циклов), что позволило решить проблему применения биосорбента в промышленных масштабах.

Процессы сорбции трехвалентного хрома с помощью зелёных водорослей изучались также в работе Zhou с соавторами (2012). Сорбцию металла проводили с помощью специально приготовленных гранул диаметром несколько миллиметров, которые состояли из полимерной основы и включенного в неё порошка из *C. vulgaris* или *S. acutus*. Статистический анализ не выявил значимой разницы в эффективности сорбции хрома III гранулами с порошком из разных водорослей.

Значительное количество приемов и методов по иммобилизации микроводорослей в разнообразных матрицах описано в статье Moheimani с соавторами (2015).

Исследование биосорбентов из остаточной биомассы микроводорослей и биополимера хитозана описано в статье Smyatskaya с соавторами (2019). Было показано, что использование биополимера хитозана повышает сорбционную способность и механическую прочность гранул, полученных методом покапельного гранулирования.

В диссертации Т. Т. Мамедова (2015) представлены результаты использования сточных вод свиноводческих ферм для культивирования микроводорослей и одновременной очистки стоков.

Для культивирования микроводорослей необходимы условия: освещенность, наличие минеральных солей, азота, углерода, фосфора в нужном количестве, тогда число клеток микроводорослей способно удваиваться (Политаева и др., 2017; Смятская и др., 2018; Politaeva et al., 2018). Чтобы обеспечить процессу выращивания микроводорослей экономическую эффективность, в качестве питательных сред можно использовать сточные воды пивоваренного производства. Применение этих стоков, содержащих биоорганические соединения, позволит не только накопить биомассу микроводорослей, но и провести биологическую очистку сточных вод.

Цель настоящей работы – изучить возможность использования микроводорослей *Chlorella sorokiniana* для биологической очистки сточных вод пивоваренного завода при одновременном культивировании биомассы микроводорослей.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Первым объектом исследования служила культура *Chlorella sorokiniana* (штамм 211-8к). Микроводоросли культивировали при освещении лампой дневного света (2600 люкс) и температуре  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ . Аэрацию суспензии осуществляли аэратором Xilong AP-003 (Xilong, Китай) с интенсивностью аэрации 2.0 – 2.5 л/мин. Конструкция биореактора и условия для культивирования микроводорослей представлены в работах (Смятская и др., 2018; Politaeva et al., 2018).

Вторым объектом исследования являлись сточные воды ООО «Пивоваренная компания «Балтика» (г. Санкт-Петербург).

Контроль сточных вод до и после очистки проводили по нескольким показателям: pH, общий органический углерод ( $C_{\text{орг}}$ ), неорганический углерод ( $C_{\text{неорг}}$ ), общий азот ( $N_{\text{общ}}$ ). Для контроля нарастания биомассы микроводорослей проводили измерения оптической плотности по истечении времени. Все измерения проводили на 1-, 3-, 6-, 8-е сутки.

Перед измерениями показателей состава сточных вод до и после очистки ( $C_{\text{орг}}$ ,  $C_{\text{неорг}}$ ,  $N_{\text{общ}}$ ) проводили центрифугирование проб с помощью центрифуги ПЭ-6900 (ЭКРОСХИМ, Россия) в течение 10 мин при скорости вращения 2500 об./мин. Отцентрифугированные пробы разбавляли в 20 раз дистиллированной водой. Для определения  $C_{\text{орг}}$ ,  $C_{\text{неорг}}$ ,  $N_{\text{общ}}$  использовали анализатор ТОС-L-срп -TN-L (Shimadzu, Япония).

Измерение величины pH проводили с использованием иономера И-160МИ («Измерительная техника», Россия).

Скорость культивирования микроводорослей определяли по изменению оптической плотности при длине волны  $\alpha = 750$  нм. Измерение оптической плотности суспензии микроводорослей проводили с помощью спектрофотометра КФК-3 («ЮНИКО-СИС», Россия).

Эффективность очистки вод находили по формуле

$$\Xi = ((C_{\text{нач}} - C_{\text{кон}}) / C_{\text{нач}}) \times 100\%,$$

где  $C_{\text{нач}}$  – начальная концентрация вещества в сточной воде, поступающей на очистку, мг/л;  $C_{\text{кон}}$  – конечная концентрация загрязняющего вещества после очистки микроводорослями, мг/л.

Неочищенные сточные воды ООО «Пивоваренная компания «Балтика» (табл. 1) содержат в своем составе соединения азота и фосфора, которые являются макроэлементами, необходимыми для питания микроводорослей, и входят в состав питательной среды для культивирования микроводорослей (табл. 2).

**Таблица 1.** Состав сточных вод ООО «Пивоваренная компания «Балтика», мг/л

**Table 1.** Composition of the wastewater from LLC “Baltica Brewing Company”, mg/L

pH, 6.5 < pH < 7.5	XПК / COD ПДК / MPC < 5500	$N_{\text{общ}}$ ПДК / MPC < 120	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	$P_{\text{общ}}$ ПДК / MPC < 27	$\text{PO}_4\text{-P}$ , ПДК / MPC < 15	$\text{SO}_4$ , ПДК / MPC < 300	Ca, ПДК / MPC < 150
6.9	5650	43.77	20.85	0.022	1.6	11.85	25.86	207.2	22.3

*Примечание.* ХПК – химическое потребление кислорода, ПДК – предельно допустимые концентрации.

*Note.* COD – chemical oxygen demand, MPC – maximum permissible concentrations.

**Таблица 2.** Состав среды для культивирования микроводорослей

**Table 2.** Composition of the medium for microalga cultivation

Компонент / Component	Концентрация, мкг/л / Concentration, µg/L
ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	100
CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	10
CoSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	100
MnCl <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	500
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ·WF	50
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	100
FeCl <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	4.000
Na <sub>2</sub> EDTA·2H <sub>2</sub> O	6.000
KNO <sub>3</sub>	1000
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	100000
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	240000

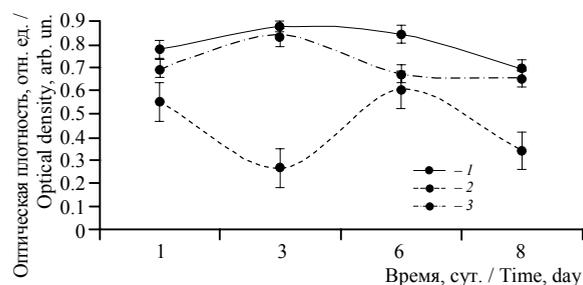
ку и анализ данных проводили в приложении Microsoft Office Excel 2010 (Microsoft Corp.), статистические расчеты выполнены с использованием пакета анализа STATISTICA 6.0 (Statsoft Inc., OK, USA).

Микроводоросли *Chlorella sorokiniana*, выращенные на питательной среде (см. табл. 2) (Политаева и др., 2017), смешивали с неочищенными стоками ООО «Пивоваренная компания «Балтика» в следующем процентном соотношении: СВ:Х 70:30; 50:50, 30:70, где СВ – сточная вода, Х – суспензия хлореллы в питательной среде с начальной оптической плотностью  $D = 0.5$ . Объем каждой смеси составлял 1 л.

Подготовительную обработку

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изменение оптической плотности и, соответственно, число клеток микроводорослей в процессе очистки-культивирования на сточных водах пивоваренного завода не значительно, но увеличивается (рис. 1).



**Рис. 1.** Значения оптической плотности микроводоросли *Chlorella sorokiniana* в процессе культивирования (X) в смеси со сточными водами (СВ) ООО «Пивоваренная компания «Балтика» (начальная оптическая плотность в исходной суспензии микроводорослей  $D = 0.506$ ): 1 – СВ:Х – 50:50, 2 – СВ:Х – 70:30, 3 – СВ:Х – 30:70

**Fig. 1.** Values of optical density of microalga *Chlorella sorokiniana* in the process of cultivation (C) in a mixture with the untreated wastewater (UWW) of LLC “Baltica Brewing Company” (the initial optical density in the initial suspension of microalgae  $D = 0.506$ ): 1 – UWW:C – 50:50, 2 – UWW:C – 70:30, 3 – UWW:C – 30:70

Видно, что наиболее благоприятными соотношениями сточной воды к суспензии микроводорослей *Chlorella sorokiniana* в растворе питательной среды являются СВ:Х 50:50%, 30:70%, при этом на 3-и сутки наблюдается рост биомассы, на 6-е и 8-е сутки – его спад. График сопоставим со стандартной кривой роста периодической культуры микроорганизмов. Прослеживаются лаг-фаза, фазы экспоненциального роста и отмирания. Происходит непрерывное изменение физиологического состояния клеток, концентрация микроорганизмов нарастает и останавливается. Это может происходить из-за не-

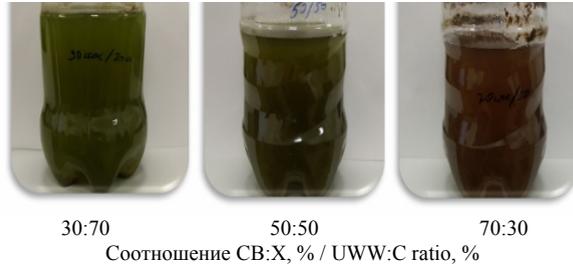
## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ *CHLORELLA SOROKINIANA*

достатка питательной среды, а также из-за образовавшихся продуктов жизнедеятельности.

При соотношении 70:30 очевидно пагубное влияние стоков на рост микроводорослей. Микробиологический анализ показал, что на 3-и сутки происходит гибель клеток микроводорослей. Увеличение значения оптической плотности на 6-е сутки обусловлено наличием осадка из отмерших клеток в суспензии, через которую проходил световой поток. Начальный зеленый цвет раствора микроводорослей с различным соотношением сточных вод на 8-е сутки изменился – в случае соотношения 50:50 зеленая окраска стала мутно-зеленой, а в случае соотношения 70:30 раствор приобрел коричневую окраску, что подтверждает гибель клеток микроводорослей. Для раствора с соотношением 30:70 цвет раствора не изменился, он имел ярко-зеленую окраску, как и в первый день культивирования, что соответствует цвету здоровых клеток (рис. 2).

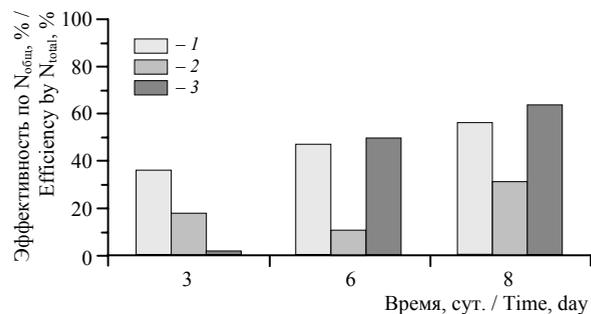
Величина рН при культивировании – очистке смешалась в щелочную область для всех видов разбавления, за 8 суток с начального значения 5-6 достигала значения 7 для всех видов разбавления.

Исследования по изменению величины общего азота (рис. 3) показало, что во всех образцах содержание общего азота на 6-е сутки снизилось (для соотношения 30:70 на 63%; для 50:50 на 56%; для 70:30 на 31%). Максимальный процент очистки происходит при соотношении 30:70. Азот поглощается микроводорослями для роста и является макроэлементом. Для



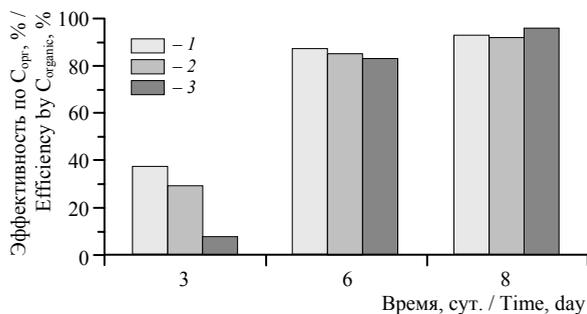
**Рис. 2.** Вид раствора микроводорослей *Chlorella sorokiniana* в смеси со сточными водами ООО «Пивоваренная компания «Балтика» после культивирования в течение восьми суток; СВ – сточные воды, X – суспензия хлореллы в питательной среде

**Fig. 2.** A view of a *Chlorella sorokiniana* microalgae solution mixed with wastewater from LLC “Baltica Brewing Company” after cultivation for 8 days; UWW – untreated wastewater, C – chlorella suspension in a nutrient medium



**Рис. 3.** Эффективность очистки сточных вод ООО «Пивоваренная компания «Балтика» от общего азота микроводорослями *Chlorella sorokiniana*: 1 – СВ:Х – 50:50, 2 – СВ:Х – 70:30, 3 – СВ:Х – 30:70; СВ – сточные воды, X – суспензия хлореллы в питательной среде

**Fig. 3.** Efficiency of the LLC “Baltica Brewing Company” effluent water treatment from total nitrogen by *Chlorella sorokiniana* microalgae: 1 – UWW:C – 50:50, 2 – UWW:C – 70:30, 3 – UWW:C – 30:70; UWW – untreated wastewater, C – chlorella suspension in a nutrient medium



**Рис. 4.** Эффективность очистки общего органического углерода при культивировании микроводорослей микроводоросли *Chlorella sorokiniana* в смеси со сточными водами ООО «Пивоваренная компания «Балтика»:

1 – СВ:Х – 50:50, 2 – СВ:Х – 70:30, 3 – СВ:Х – 30:70; СВ – сточные воды, Х – суспензия хлореллы в питательной среде

**Fig. 4.** Efficiency of the LLC “Baltica Brewing Company” effluent water treatment from total organic carbon by *Chlorella sorokiniana* microalgae: 1 – UWW:C – 50:50, 2 – UWW:C – 70:30, 3 – UWW:C – 30:70; UWW – untreated wastewater, C – chlorella suspension in a nutrient medium

Максимальное снижение величины органического углерода (более 90%) происходит при соотношении СВ:Х 30:70 (рис. 4).

Из рис. 4 видно, что в процессе культивирования происходит образование неорганического углерода, в то время как величина органического углерода снижается. Микроводоросли интенсивно потребляют неорганические соединения, что также происходит и в природных водоёмах. Чем интенсивнее микроводоросли потребляют углекислоту, тем большее количество ее поступает в воду (Shebanova et al., 2017).

Рост неорганического углерода во всех трех вариантах соотношения СВ:Х (50:50, 70:30, 30:70), вероятно всего, связан с тем, что происходит насыщение смеси углекислым газом в процессе культивирования и образования карбонатов и гидрокарбонатов, а уменьшение органического углерода в растворе связано с тем, что он весь переходит в биомассу.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований на примере ООО «Пивоваренная компания «Балтика» показано, что одновременный процесс очистки сточных вод и культивирования биомассы микроводорослей возможен.

Оптимальным соотношением СВ:Х является 30:70, при данном соотношении не происходит гибели биомассы микроводорослей, она хорошо растет, используя загрязняющие вещества для своего питания.

культивирования микроводорослей достаточно  $\text{NO}_3$  ( $\text{KNO}_3$ ) в количестве 1000 мкг/л = 1 мг/л. В сточных водах ООО «Пивоваренная компания «Балтика»  $\text{NO}_3\text{-N}$  содержится в количестве 1.6 мг/л. Поэтому разбавление СВ:Х в соотношении 30:70 является оптимальным.

При изучении скорости поглощения органического и неорганического углерода было установлено, что значения величин органического и неорганического углерода коррелирует между собой. В процессе культивирования концентрация неорганического углерода увеличивается, в то время как величина органического углерода снижается.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ *CHLORELLA SOROKINIANA*

При соотношении СВ:Х 30:70 происходит максимальная очистка сточных вод для общего азота до 70%, для органического углерода до 90%.

Величина рН меняется с кислого значения до нейтрального.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Мамедова Т. Т. Различные подходы к накоплению биомассы водорослей *Chlorella vulgaris* и процессам ее биокаталитической трансформации : дис. ... канд. хим. наук. М., 2015. 176 с.

Политаева Н. А., Смятская Ю. А., Кузнецова Т. А., Ольшанская Л. Н., Валиев Р. Ш. Культивирование и использование микроводорослей *Chlorella* и высших водных растений ряска *Lemna*. Саратов : ИЦ «Наука», 2017. 125 с.

Смятская Ю. А., Политаева Н. А., Собгайда В. С. Фотобиореакторы для культивирования микроводоросли *Chlorella sorokiniana* // Вестник Технологического университета. 2018. № 2. С. 224 – 227.

Субботина Ю. М., Смирнова И. П., Кутковский К. А. Теоретические и методологические подходы к очистке сточных вод компонентами водной экосистемы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. № 5 (127). С. 99 – 106.

Щербаков П. Н. Влияние избытка органического и неорганического углерода на поглощение ортофосфата клетками *Chlorella vulgaris* // Материалы международного молодежного научного форума «Ломоносов-2017». М. : МАКС Пресс, 2017. С. 1 – 2.

Akhtar N., Iqbal M., Zafar S. I., Iqbal J. Biosorption characteristics of unicellular green alga *Chlorella sorokiniana* immobilized in loofa sponge for removal of Cr(III) // Journal of Environmental Sciences. 2008. Vol. 20, iss. 2. P. 231 – 239.

Ardila L., Godoy R., Montenegro L. Sorption capacity measurement of *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus acutus* to remove chromium from tannery waste water // IOP Conference. Ser.: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 83. Article number 012031.

Moheimani N. R., McHenry M. P., de Boer K., Bahri P. A. Biomass and Biofuels from Microalgae : Advances in Engineering and Biology. New York ; Dordrecht ; London : Springer International Publishing, 2015. 373 p.

Politaeva N. A., Kuznetsova T. A., Smyatskaya Y. A., Trukhina E. V., Atamanyuk I. Energy production from *Chlorella* algae biomass under St. Petersburg climatic conditions // Chemical and Petroleum Engineering. 2018. Vol. 53, № 11. P. 801 – 805. <https://doi.org/10.1007/s10556-018-0425-z>

Shebanova A., Ismagulova T., Solovchenko A., Baulina O., Lobakova E., Ivanova A., Moiseenko A., Shaïtan K., Polshakov V., Nedbal L., Gorelova O. Versatility of the green microalga cell vacuole function as revealed by analytical transmission electron microscopy // Protoplasma. 2017. Vol. 254, iss. 3. P. 1323 – 1340.

Smyatskaya Yu. A., Fazullina A. A., Politaeva N. A., Zhazhkov V. V., Pavlushkina Yu. E., Dolbnya I. V. The use and utilization of chitosan sorbents – The residual biomass of microalgae *Chlorella sorokiniana* // Ecology and Industry of Russia. 2019. Vol. 23, № 9. P. 18 – 23. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-9-18-23>

Zhou W., Cheng Y., Li Y., Wan Y., Liu Y., Lin X., Ruan R. Novel fungal pelletization-assisted technology for algae harvesting and wastewater treatment // Applied Biochemistry and Biotechnology. 2012. Vol. 167, iss. 2. P. 214 – 228.

## Use of *Chlorella sorokiniana* (Chlorellaceae, Chlorellales) microalgae for purification of waste water from the brewing industry

N. V. Zibarev, N. A. Politaeva , M. Yu. Andrianova

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University  
29 Polytechnicheskaya St., Saint Petersburg 195251, Russia

Received: 16 June 2021 / revised: 19 July 2021 / accepted: 27 August 2021

**Abstract.** The paper presents some environmental problems of the brewing industry. The literature data on the methods of water purification using microalgae have been studied. The composition of wastewater from the brewing industry is shown to consist of few biogenic elements, namely: nitrogen, phosphorus and potassium, which are necessary for microalgae biomass cultivation. Therefore, the wastewater from the brewing industry can be used as a basis for making a nutrient medium to cultivate microalgae. In the experimental part, the effect of various dilutions of a suspension of microalgae *Chlorella sorokiniana* (C) grown on a nutrient medium with untreated wastewater (UWW) from the brewing industry was studied. Various percentage ratios of wastewater to microalga suspension were studied, namely: UWW/C = 70:30, 50:50, and 30:70 for the ability to absorb nitrogen, organic and inorganic carbon from dry matter, and to change the pH value. The dependences of the growth rate of microalgae at various percentage additives of the wastewater from the brewing industry are presented. It was shown that at a UWW:C = 30:70, this dependence is characteristic of the standard growth curve of a microorganism culture. A lag phase, phases of exponential growth and withering away are observed. At a 70:30 ratio, the harmful effect of effluents on the growth of microalgae is obvious, on the 3<sup>rd</sup> day their death occurs, the green solution acquiring a brown color to confirm the death of microalgae cells. It has been shown that the optimal UWW:C ratio is 30:70, with no loss of biomass, it grows well using pollutants for its nutrition. The color of the solution after cultivation was bright green, which corresponded to the color of healthy cells. At UWW:C = 30:70, the wastewater is purified up to 70% and 90% for total nitrogen and organic carbon, respectively. The pH value changes from acidic to neutral.

**Keywords:** *Chlorella sorokiniana*, wastewater treatment, brewing industry

**For citation:** Zibarev N. V., Politaeva N. A., Andrianova M. Yu. Use of *Chlorella sorokiniana* (Chlorellaceae, Chlorellales) microalgae for purification of waste water from the brewing industry. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2021, no. 3, pp. 262–271. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-3-262-271>

## REFERENCES

Mammadova T. T. *Razlichnyye podkhody k nakopleniiu biomassy vodoroslei Chlorella vulgaris i protsessam ee biokataliticheskoi transformatsii* [Various Approaches to the Accumulation of Algae Biomass of *Chlorella vulgaris* and the Processes of its Biocatalytic Transformation]. Diss. Cand. Sci. (Biol.). Moscow, 2015. 176 p. (in Russian).

---

 *Corresponding author.* Higher School of Hydraulic and Power Engineering Construction, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Russia.

ORCID and e-mail addresses: Nikita V. Zibarev: <https://orcid.org/0000-0002-8710-6304>, [ij1995@yandex.ru](mailto:ij1995@yandex.ru); Natalia A. Politaeva: <https://orcid.org/0000-0002-5914-6210>, [politaevana1971@gmail.com](mailto:politaevana1971@gmail.com); Maria Yu. Andrianova: <https://orcid.org/0000-0001-5723-851X>, [andrianova\\_myu@spbstu.ru](mailto:andrianova_myu@spbstu.ru).

Politaeva N. A., Smyatskaya Yu. A., Kuznetsova T. A., Olshanskaya L. N., Valiev R. S. *Kul'tivirovanie i ispol'zovanie mikrovodoroslei Chlorella i vysshikh vodnykh rastenii riaska Lemna* [Cultivation and Use of Microalgae *Chlorella* and Higher Aquatic Plants Duckweed *Lemna*]. Saratov, ITs "Nauka" Publ., 2017. 125 p. (in Russian).

Smyatskaya Y. A., Politaeva N. A., Sobgaida V. S. Photobioreactors for cultivating microalgae *Chlorella sorokiniana*. *Bulletin of the Technological University*, 2018, no. 2, pp. 224–227 (in Russian).

Subbotina Yu. M., Smirnova I. R., Kutkovskiy K. A. Theoretical and methodological approaches to sewage treatment by the elements of aquatic ecosystem. *Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2015, no. 5 (127), pp. 99–106 (in Russian).

Shcherbakov P. N. Influence of excess of organic and inorganic carbon on the absorption of orthophosphate by *Chlorella vulgaris* cells. *International Youth Scientific Forum "Lomonosov-2017"*. Moscow, MAKS Press, 2017, pp. 1–2 (in Russian).

Akhtar N., Iqbal M., Zafar S. I., Iqbal J. Biosorption characteristics of unicellular green alga *Chlorella sorokiniana* immobilized in loofa sponge for removal of Cr(III). *Journal of Environmental Sciences*, 2008, vol. 20, iss. 2, pp. 231–239.

Ardila L., Godoy R., Montenegro L. Sorption capacity measurement of *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus acutus* to remove chromium from tannery waste water. *IOP Conference, Ser. Earth and Environmental Science*, 2017, vol. 83, article number 012031.

Moheimani N. R., McHenry M. P., de Boer K., Bahri P. A. *Biomass and Biofuels from Microalgae: Advances in Engineering and Biology*. New York, Dordrecht, London, Springer International Publishing, 2015. 373 p.

Politaeva N. A., Kuznetsova T. A., Smyatskaya Y. A., Trukhina E. V., Atamanyuk I. Energy production from *Chlorella* algae biomass under St. Petersburg climatic conditions. *Chemical and Petroleum Engineering*, 2018, vol. 53, no. 11, pp. 801–805. <https://doi.org/10.1007/s10556-018-0425-z>

Shebanova A., Ismagulova T., Solovchenko A., Baulina O., Lobakova E., Ivanova A., Moiseenko A., Shaitan K., Polshakov V., Nedbal L., Gorelova O. Versatility of the green microalga cell vacuole function as revealed by analytical transmission electron microscopy. *Protoplasma*, 2017, vol. 254, iss. 3, pp. 1323–1340.

Smyatskaya Yu. A., Fazullina A. A., Politaeva N. A., Zhazhkov V. V., Pavlushkina Yu. E., Dolbnya I. V. The use and utilization of chitosan sorbents – The residual biomass of microalgae *Chlorella sorokiniana*. *Ecology and Industry of Russia*, 2019, vol. 23, no. 9, pp. 18–23. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-9-18-23>

Zhou W., Cheng Y., Li Y., Wan Y., Liu Y., Lin X., Ruan R. Novel fungal pelletization-assisted technology for algae harvesting and wastewater treatment. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2012, vol. 167, iss. 2, pp. 214–228.