



БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

BIOLOGICAL RESOURCES

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-2-225-231

EDN: EIROBE

УДК 57.042.5

Научная статья / Research article

Стимулирование роста *Chlorella* в зависимости от длительности воздействия электромагнитного излучения крайне высоких частот

Г.А. Щеглов  

*Институт проблем промышленной экологии Севера
Федерального исследовательского центра Кольского Научного центра
Российской академии наук, Апатиты, Российская Федерация*

 g.scheglov@ksc.ru

Аннотация. Цель исследования – изучить влияние длительности экспозиции электромагнитного излучения (ЭМИ) крайне высоких частот (КВЧ) на скорость роста микроводоросли *Chlorella*. Загрязнение карьерных сточных вод соединениями неорганического азота (аммонием, нитратом, нитритом) – важная проблема горнодобывающей промышленности. Биологические методы очистки с применением растительных организмов и микроорганизмов показывают эффективность и требуют меньших финансовых и трудовых затрат, чем физические и химические методы очистки сточных вод. Не все организмы и микроорганизмы применимы в условиях Крайнего Севера. Микроводоросль *Chlorella* демонстрирует способность к снижению концентрации нитратов и аммония в карьерных сточных водах, а отдельные виды микроводоросли способны выживать при температуре воды 3 °С. Ряд работ свидетельствует о стимулирующем действии ЭМИ КВЧ на микроорганизмы и способность к снижению токсичности загрязняющих веществ. Поэтому методики очистки карьерных сточных вод от соединений неорганического азота с помощью микроводоросли *Chlorella* под воздействием электромагнитного излучения крайне высоких частот актуальны для разработки.

© Щеглов Г.А., 2023



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Ключевые слова: биотехнологии, очистка карьерных вод, электромагнитные поля, облучение, миллиметровые волны, биомасса, микроводоросли

Благодарности и финансирование. Автор выражает благодарность научному руководителю Маслобоеву Владимиру Алексеевичу, доктору технических наук, заведующему лабораторией междисциплинарных эколого-экономических исследований ИППЭС КНЦ РАН за советы в планировании исследования и критический анализ текста статьи. Работа выполнена в рамках темы НИР FMEZ-2022-0010 122022400112-7 «Процессы трансформации природных и техногенных систем в условиях изменения климата в Арктической зоне Российской Федерации (на примере Мурманской области)».

История статьи: поступила в редакцию 12.06.2022; доработана после рецензирования 12.09.2022; принята к публикации 20.02.2023.

Для цитирования: Щеглов Г.А. Стимулирование роста *Chlorella* в зависимости от длительности воздействия электромагнитного излучения крайне высоких частот // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 2. С. 225–231. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-225-231>

***Chlorella* growth stimulation depending on the duration of extremely high frequencies electromagnetic radiation exposure**

Gleb A. Shcheglov  

*Institute of Industrial Ecology Problems in the North, Kola Science Center,
Russian Academy of Science (INEP KSC RAS), Apatity, Russian Federation*
 g.scheglov@ksc.ru

Abstract. The result indicates the possibility of creating methods to stimulate the growth rate of microalgae by extremely high frequency electromagnetic radiation (EHF EMF). Pollution of quarry waste water with inorganic nitrogen compounds (ammonium, nitrate, nitrite) is an important problem in the mining industry. Biological treatment methods with the use of plant organisms and microorganisms show efficiency and require less financial and labour costs than physical and chemical methods of waste water treatment. Not all organisms and microorganisms are applicable in the Far North conditions. The microalgae *Chlorella* shows the ability to reduce nitrate and ammonium concentrations in quarry wastewater, and some species of microalgae can survive at water temperatures of 3°C. A number of works indicate the stimulating effect of EHF EMR on microorganisms and the ability to reduce the toxicity of pollutants. Therefore, the methods of treatment of quarry waste water from inorganic nitrogen compounds by microalgae *Chlorella* under the influence of electromagnetic radiation of extremely high frequency are relevant for development. The aim of the study was to investigate the effect of the duration of EHF EMR exposure on the growth rate of the *Chlorella* microalgae. Materials and Methods: In this work, 2 control and 9 working experiments were carried out to cultivate *Chlorella vulgaris* for 24 hours with the exposure time of EMF EHF from 5 to 480 minutes at the beginning of cultivation. The increase in biomass concentration in the experiments relative to control values was studied spectrophotometrically. Results: The maximum increase in biomass concentration was observed at an exposure time of 120 minutes.

Keywords: biotechnology, quarry waters treatment, electromagnetic fields, irradiation, millimeter waves, biomass, microalgae

Acknowledgements and Funding. The author is grateful to his supervisor Vladimir A. Masloboev, Doctor of Engineering, Head of the Laboratory of Interdisciplinary Environmental-Economic Research at the INEP KSC RAS for advice in planning the research and critical analysis of the text of the article. This work has been carried out within the research theme FMEZ-2022-0010 122022400112-7 Processes of transformation of natural and anthropogenic systems under climate change in the Arctic zone of the Russian Federation (by the example of Murmansk region).

Article history: received 12.06.2022; revised 12.09.2022; accepted 20.02.2023.

For citation: Shcheglov GA. *Chlorella* growth stimulation depending on the duration of extremely high frequencies electromagnetic radiation exposure. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(2):225–231. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-225-231>

Введение

Загрязнение карьерных сточных вод соединениями неорганического азота – важная проблема горнодобывающей промышленности [1; 2]. Загрязнение происходит в результате использования в качестве взрывчатого вещества нитрата аммония при неполном его разложении. В результате выбросов соединения неорганического азота попадают в водоемы и почвы, угнетая экосистему[3].

Микроводоросль *Chlorella* – перспективный объект исследований для создания методов очистки сточных вод горнодобывающих производств от соединений неорганического азота [4; 5]. Поэтому важно найти способы стимулирования роста микроводоросли, с помощью которых удастся быстрее наращивать биомассу микроводоросли для очистки сточных вод.

Электромагнитное излучение (ЭМИ) может быть использовано для ускорения наращивания биомассы микроводорослей. В ряде работ показаны стимулирующие эффекты ЭМИ на микроводоросль *Chlorella* [6; 7]. Повышенный интерес представляет действие ЭМИ крайне высоких частот (КВЧ). Так, в [8–10] сообщается о снижении токсичности загрязняющих веществ в воде при воздействии электромагнитного излучения крайне высоких частот (ЭМИ КВЧ).

Цель исследования – изучение действия ЭМИ КВЧ различной продолжительности при наращивании биомассы микроводоросли *Chlorella*.

Материалы и методы

Объект исследования – одноклеточная микроводоросль *Chlorella vulgaris*. До начала экспериментов биомасса водоросли наращивалась на среде Тамия 7 дней. Полученную культуру брали в качестве исходной для проведения экспериментов.

Эксперименты проходили при постоянном освещении лампы LED-1088 Aquarium light, при постоянной температуре 30 °C и подаче воздуха 2,5 л/м.

Характеристики излучения. Генератор Г4-141 («Исток», г. Фрязино Московской области, СССР) являлся источником излучения. Прямоугольный рупор с раскрытием 5,2×2,6 мм использовался в качестве излучателя на расстоянии 25 см от объекта. Плотность потока энергии J составляла 11,69 мкВт/см². Рабочая частота излучения 40 ГГц в режиме непрерывной генерации выявлена в предварительных экспериментах [11].

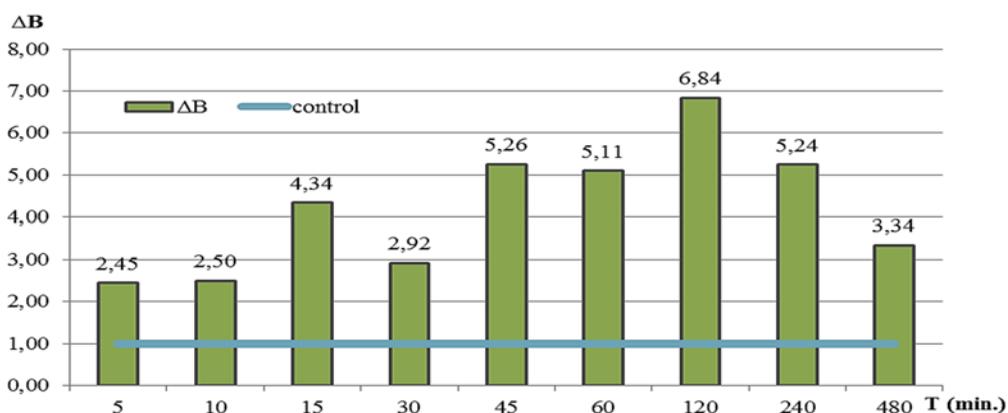
Методика эксперимента. В каждом эксперименте брали 6 мл исходной культуры, вносили в 1,2 литра среды Тамия и разделяли на 4 равные пробы по 300 мл. Одну пробу сразу отбирали для определения исходной концентрации биомассы, оставшиеся три экспериментальные пробы культивировали 24 ч, облучая ЭМИ КВЧ от 0 до 480 мин в начале культивирования.

Было проведено два контрольных эксперимента, в которых культура выращивалась без воздействия ЭМИ КВЧ, и 9 экспериментов с различным временем экспозиции: 5, 10, 15, 30, 45, 60, 120, 240, 480 мин.

Методика анализа. После окончания культивирования пробы пропускались через мембранный фильтр диаметром 47 мм типа МФАС-ОС-2С. А затем по методике ГОСТ 17.1.4.02-90 определяли концентрацию биомассы микроводоросли на спектрофотометре ПЭ-5400УФ (ООО «Экохим», г. Санкт-Петербург, Россия). По значениям от трех экспериментальных проб рассчитывалась средняя концентрация биомассы. По среднему значению относительно исходного значения рассчитывался прирост биомассы за сутки. Полученный прирост биомассы в эксперименте сравнивался со значением в контрольных экспериментах.

Результаты

Полученные результаты представлены в графическом виде на рисунке.



Прирост концентрации биомассы *Chlorella vulgaris* после 24-часового культивирования в зависимости от времени экспозиции ЭМИ 40 ГГц, ППЭ 11,69 мкВт/см²
The *Chlorella vulgaris* biomass concentration increase after cultivation 24 hours and various durations exposure to EMR 40 Hz, energy-flux density of 11.69 μW/cm²

По двум контрольным экспериментам с тремя повторами в каждом было рассчитано среднее значение концентрации биомассы, которое было принято за контрольное значение без воздействия и приравнено к 1.

Ось ординат показывает, во сколько раз относительно контроля изменилась концентрация биомассы за сутки – ΔB . Ось абсцисс показывает время экспозиции объекта – T , от 5 до 480 минут. На графике представлено 9 столбцов, каждый из которых отражает результаты одного из экспериментов с различным временем экспозиции. Культивирование во всех экспериментах проходило 24 часа вне зависимости от времени экспозиции.

Как видно из данных рис., в экспериментах наблюдается увеличение концентрации биомассы микроводоросли относительно контрольных значений, что подтверждает предварительно полученные результаты о стимулирующем действии ЭМИ КВЧ 40 ГГц на *Chlorella vulgaris* [11]. Результаты экспериментов, приведенные на графике, разделены на три сектора: 5–30, 45–240, 480 мин. В диапазоне от 5 до 30 мин наблюдается увеличение концентрации биомассы относительно контроля. В диапазоне от 45 до 240 мин наблюдается резкое увеличение прироста биомассы с пиковым значением при времени экспозиции 120 мин. Затем прирост биомассы снижается и при 480 мин укладывается в диапазон, наблюдаемый при 5–30 мин.

Наличие данных о способности микроводоросли *Chlorella* к поглощению аммонийного и нитратного азота [4; 5] указывает на перспективность биологических методик очистки карьерных сточных вод от соединений неорганического азота. Данные о снижении токсичности загрязняющих веществ в стоках [8–10] свидетельствуют о перспективности использования ЭМИ КВЧ не только для стимулирования роста микроводоросли, но и снижения токсичности соединений азота и, как следствие, повышения степени очистки карьерных сточных вод.

Заключение

По результатам исследования оптимальное время экспозиции ЭМИ КВЧ 40 ГГц для стимулирования роста одноклеточной микроводоросли *Chlorella vulgaris* лежит в диапазоне от 45 до 240 мин. Максимальный стимулирующий эффект был отмечен при времени экспозиции 120 мин (2 ч). Прирост биомассы за 24 ч выше контрольных значений в 6,84 раза при экспозиции 120 мин. Полученные результаты важны для создания методик культивирования микроводорослей. Для создания методов культивирования *Chlorella* необходимо подобрать оптимальные характеристики ЭМИ КВЧ. Описанные в статье эксперименты были проведены в режиме непрерывной генерации. В дальнейшей работе необходимо изучить действие ЭМИ КВЧ в режиме импульсной генерации и сравнить воздействие с воздействием непрерывного излучения.

Также необходимо проведение ряда экспериментов по изучению способности *Chlorella* к поглощению соединений азота в различных условиях, в том числе в климатических условиях Крайнего Севера, подбору холодоустойчивых видов *Chlorella*. И затем изучить способность *Chlorella* поглощать соединения неорганического азота при экспозиции ЭМИ КВЧ.

Список литературы

- [1] Хохряков А.В., Студенок А.Г., Ольховский А.М., Студенок Г.А. Количественная оценка вклада взрывных работ в загрязнение дренажных вод карьеров соединениями азота // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2005. № 6. С. 29–31. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11642420>
- [2] Хохряков А.В., Студенок А.Г., Студенок Г.А. Исследование процессов формирования химического загрязнения дренажных вод соединениями азота на примере карьера крупного горного предприятия // Известия Уральского государственного горного университета. 2016. № 4 (44). С. 35–37. <http://doi.org/10.21440/2307-2091-2016-4-35-37>
- [3] Babatunde A.O., Zhao Y.Q., Doyle R.J., Rackard S.M., Kumar J.L.G., Hu Y.S., On the fit of statistical and the k-C * models to projecting treatment performance in a constructed wetland system // Environ Sci Health A Tox Hazard Subst. 2011. Vol. 46 (5). P. 490–499. <http://doi.org/10.1080/10934529.2011.551729>
- [4] Кирилина Т.В., До Тху Тху Ханг, Сироткин А.С. Оценка эффективности доочистки сточных вод с использованием одноклеточных и многоклеточных гидробактерий // Вестник Казанского технологического университета. 2013. № 8 (16). С. 200–203.
- [5] Солнышкова М.А. Снижение загрязнения поверхностных вод неорганическими соединениями азота в зоне воздействия горнодобывающих предприятий Мурманской области: дис. ... канд. тех. наук. СПб., 2020. URL: <https://goo.su/N55RjSd> (дата обращения: 28.09.2022).
- [6] Li Z.Y., Guo S.Y., Li L., Cai M.Y. Effects of electromagnetic field on the batch cultivation and nutritional composition of *Spirulina platensis* in an air-lift photobioreactor // Bioresour. Technol. 2007. Vol. 98. № 3. P. 700–705.
- [7] Суховский Н.А. Наличие электростатического поля в электростатическом биореакторе // Вестник АПК Верхневолжья. 2015. № 1. С. 92–94.
- [8] Гапочка М.Г. Экологические аспекты взаимодействия электромагнитных полей миллиметрового диапазона с биологическими объектами: дис. ... д-ра биол. наук. М., 2013. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30397922> (дата обращения: 27.09.2022).
- [9] Гапочка М.Г. Влияние электромагнитного излучения низкой интенсивности на токсичность водной среды // ВМУ физика астрономия. 2009. № 1. С. 67–69.
- [10] Зарубина А.П., Гапочка М.Г., Новоселова Л.А., Гапочка Л.Д. Биотестирование тест-системой «эколюм» влияния электромагнитного поля низкой интенсивности на токсичность бытовых стоков // Вестник Московского Университета. Биология. 2012. Т. 16. № 3. С. 39–43.
- [11] Щеглов Г.А., Маслобоев В.А. Возможность стимулирования роста микроводорослей электромагнитным излучением для альгологических исследований // XIX Международная научная конференция студентов и аспирантов «Проблемы арктического региона». 2022. С. 21. <http://doi.org/10.31241/FNS.2022.19.077>

References

- [1] Khokhryakov AV, Studenok AG, Olkhovsky AM, Studenok GA. Quantitative assessment of the contribution of blasting operations to the pollution of drainage waters of quarries with nitrogen compounds. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Mining Journal*. 2005;6:29–31. (In Russ.). Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11642420> (accessed: 07.11.2022).
- [2] Khokhryakova AV, Studenok AG, Studenok GA. Investigation of the processes of formation of chemical pollution of drainage waters with nitrogen compounds on the

- example of a quarry of a large mining enterprise. *Proceedings of the Ural State Mining University*. 2016;4(44):35–37. (In Russ.). <http://doi.org/10.21440/2307-2091-2016-4-35-37>
- [3] Babatunde AO, Zhao YQ, Doyle RJ, Rackard SM, Kumar JLG, Hu YS. On the fit of statistical and the k-C * models to projecting treatment performance in a constructed wetland system. *Environ Sci Health A Tox Hazard Subst*. 2011;46(5):490-9. <http://doi.org/10.1080/10934529.2011.551729>
- [4] Kirilina TV, Do Thi Thu Hang, Sirotkin AS. Evaluation of the efficiency of wastewater treatment using unicellular and multicellular hydrobionts. *Bulletin of Kazan Technological University*. 2013;8(16):200–203. (In Russ.)
- [5] Solnyshkova MA. *Reduction of surface water pollution by inorganic nitrogen compounds in the impact zone of mining enterprises of the Murmansk region* (dissertation of the Candidate of Technical Sciences). Saint Petersburg; 2020. (In Russ.). Available from: <https://goo.su/N55RjSd> (accessed: 07.11.2022).
- [6] Li ZY, Guo SY, Li L, Cai MY. Effects of electromagnetic field on the batch cultivation and nutritional composition of *Spirulina platensis* in an air-lift photobioreactor. *Bioresour. Technol*. 2007;98(3):700–705.
- [7] Sukhovskiy NA. The presence of an electrostatic field in an electrostatic bioreactor. *Bulletin of the Agroindustrial complex of the Upper Volga region*. 2015;(1):92–94. (In Russ.)
- [8] Gapochka MG. *Ecological aspects of interaction of electromagnetic fields of the millimeter range with biological objects* (dissertation of the Doctor of Biological Sciences). Moscow; 2013. (In Russ.). Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30397922> (accessed: 27.09.2022).
- [9] Gapochka MG. The influence of low-intensity electromagnetic radiation on the toxicity of the aquatic environment. *VMU physics astronomy*. 2009;1:67–69. (In Russ.)
- [10] Zarubina AP, Gapochka MG, Novoselova LA, Gapochka LD. Biotesting by the ecolume test system of the effect of a low-intensity electromagnetic field on the toxicity of household wastewater. *Bulletin of the Moscow University. Biology*. 2012;16(3):39–43. (In Russ.)
- [11] Shcheglov GA, Masloboev VA. Prospects of the Chlorella application for the nitrogen quarry waters purification at low temperature. *Proceedings of the Fersman scientific session of the GI KNC RAS*. 2022;19:424–429. (In Russ.). <http://doi.org/10.31241/FNS.2022.19.077>

Сведения об авторе:

Щеглов Глеб Андреевич, инженер, Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН, Российская Федерация, 184209, Мурманская обл., Апатиты, ул. Ферсмана, 14а. ORCID: 0000-0003-2870-3616. E-mail: g.scheglov@ksc.ru

Bio note:

Gleb A. Shcheglov, Engineer, Institute of North Industrial Ecology Problems Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences (INEP KSC RAS), 14a Fersman St, Apatity, Murmansk region, 184209, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-2870-3616. E-mail: g.scheglov@ksc.ru