

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОФИКСАЦИИ УГЛЕРОДА РАЗЛИЧНЫМИ КУЛЬТУРАМИ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ

*Е.С. Белик, А.С. Соловьёва, С.М. Мактиева, Л.В. Рудакова*

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Россия*

В статье представлены результаты экспериментальных исследований по утилизации углекислого газа различными культурами микроскопических водорослей, выделенных из природной среды или полученных в лабораторных условиях. Концентрация углекислого газа составила 5 %. Лучшие результаты по биофиксации углерода показали микроводоросли, выделенные из природного пресного водоема. В процессе культивирования растительная биомасса увеличилась в восемь раз, по сравнению с начальной биомассой.

**Ключевые слова:** утилизация углекислого газа, биофиксация, микроводоросли, растительная биомасса.

## EVALUATION OF THE BIOFIXATION EFFICIENCY OF DIFFERENT MICROALGAE CULTURES

*E.S. Belik, A.S. Solovyova, S.M. Maktieva, L.V. Rudakova*

*Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia*

The article presents the results of experimental studies on the utilization of carbon dioxide by various cultures of microscopic algae isolated from the natural environment or obtained under laboratory conditions. The carbon dioxide concentration was 5%. The best results in carbon biofixation were obtained with microalgae isolated from a natural freshwater body. During the cultivation process, plant biomass increased eight times compared to the initial biomass.

**Keywords:** Carbon dioxide utilization, biofixation, microalgae, plant biomass.

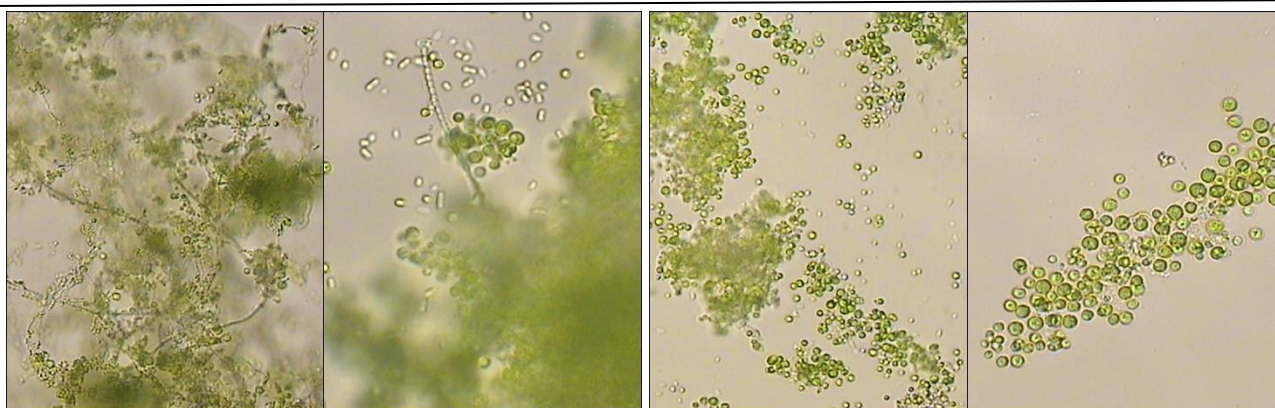
В связи с переходом России к низкоуглеродному развитию большой интерес представляет реализация новых проектов по утилизации выбросов углекислого газа. Одним из перспективных способов утилизации углекислого газа является биотехнологический с использованием микроскопических водорослей.

Исследования в данном направлении ведут специалисты ФГАОУ ВО «СПбПУ», разработавшие способ утилизации углекислого газа (15-39 об.%) с применением микроводоросли рода *Chlorella*. Эффективность утилизации составляла до 0,127 г CO<sub>2</sub> одним литром суспензии микроводорослей *Chlorella Vulgaris* за одни сутки [1]. В НГТУ им. Алексеева также исследуют подходы к утилизации выбросов углекислого газа с использованием микроскопических водорослей [2]. Специалисты компании ООО «РИТЭК» занимаются изучением вопроса утилизации отходящих газов с помощью микроводорослей и их переработкой в бионефть [3].

Цель работы заключалась в оценке эффективности биофиксации углерода различными культурами микроводорослей.

Объектами экспериментальных исследований были культуры микроскопических водорослей, выделенных из природной среды или полученных в лабораторных условиях. Микрофотографии культур микроводорослей представлены на рис. 1–4.

Культура № 1 – консорциум сине-зеленых микроскопических водорослей (цианобактерий) и частых включений колоний зеленых микроводорослей с нитями грибов, выделенных из лишайников (рис. 1а).

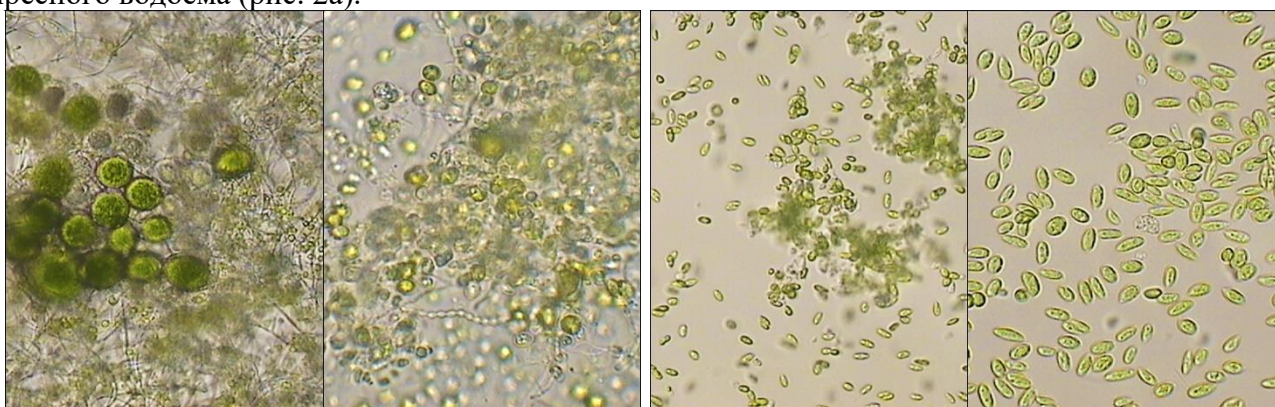


а – культура № 1 (увеличение x400/x800)      б – культура № 2 (увеличение x400/x800)

Рис. 1. Микрофотографии культур микроводорослей

Культура № 2 – микроводоросли, выращенные в лабораторных условиях путем длительной адаптации к питательной среде Тамия при комнатных условиях.

Культура № 3 – зеленые микроводоросли различных видов, выделенные из природного пресного водоема (рис. 2а).



а – культура № 3 (увеличение x400/x800)      б – культура № 4 (увеличение x400/x800)

Рис. 2. Микрофотографии культур микроводорослей

Культура № 4 – штамм микроводоросли рода *Chlorella*, выращенный из готового биопрепарата и показавший наилучшие результаты на основании предыдущих исследований (рис. 2б). Программа исследования по поглощению углекислого газа микроскопическими водорослями представлена в табл. 1.

Таблица 1.

Программа исследования по поглощению углекислого газа микроскопическими водорослями

Показатели исследований	Применяемые методики	Оборудование
1. Изменение оптической плотности микроводорослей;	ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04 Токсикологические методы контроля. Методика измерений оптической плотности культуры водоросли хлорелла ( <i>Chlorella vulgaris</i> Beijer) для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления;	Инкубатор BC-J80/BC-J160; Климатостат КС-200 СПУ; Спектрофотометр.
2. Микроскопирование микроводорослей.	Микроскопический анализ	Микроскоп Carl Zeiss.

Для выращивания культур микроводорослей использовали жидкую среду Тамия. Культивирование микроводорослей осуществляли при постоянных концентрациях CO<sub>2</sub> в

инкубаторе углекислого газа ВС-J80, обеспечивающем непрерывное нагнетание  $\text{CO}_2$  и поддержание температуры  $35^\circ\text{C}$ . Культивирование образцов контрольной группы осуществляли в климатостате КС-200 СПУ при аналогичных условиях без подачи углекислого газа (концентрация  $\text{CO}_2$  была равна атмосферной – 0,03%). Уровень pH на протяжении эксперимента для всех проб находился в диапазоне 6–7,5. Определение концентрации клеток микроводорослей в суспензии производили по показателю оптической плотности на спектрофотометре В-1200 ЭКОВЬЮ (толщина стенки кюветы – 10 мм, светофильтр – 560 нм). Периодичность контроля – 1 раз в 3-4 дня. Начальная оптическая плотность готовых суспензий находилась в диапазоне 0,1–0,4 ед.

С целью оценки жизнеспособности и устойчивости исследуемых культур микроводорослей к повышенным концентрациям углекислого газа в процессе эксперимента осуществляли визуальный анализ проб и микроскопирование с использованием микроскопа марки Carl Zeiss при разном увеличении. На основании проведенных экспериментальных исследований были выявлены закономерности по адаптации объектов исследования к увеличению концентрации углекислого газа, так и по определению наиболее эффективной культуры. На рис. 3-6 представлено изменение оптической плотности культур микроводорослей.

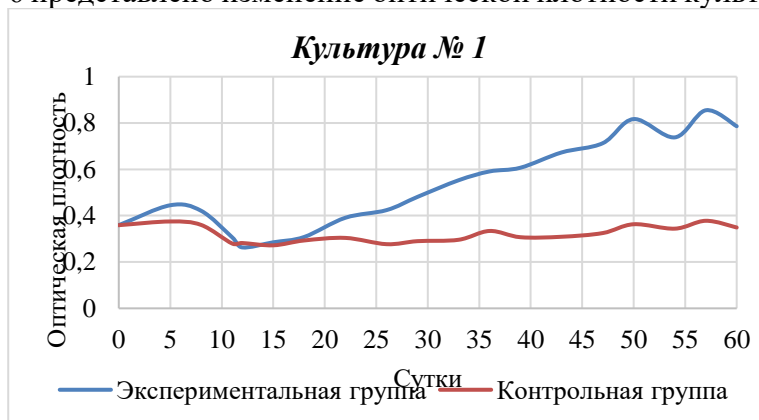


Рис. 3. Изменение оптической плотности культуры №1: экспериментальная группа – 5 % углекислого газа, контрольная группа – 0,03 % углекислого газа

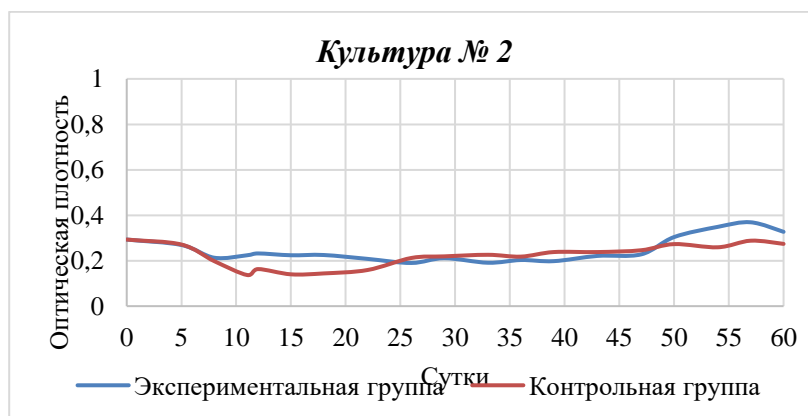


Рис. 4. Изменение оптической плотности культуры №2: экспериментальная группа – 5 % углекислого газа, контрольная группа – 0,03 % углекислого газа

При сравнении экспериментальной и контрольной группы образцов ингибирующий эффект от повышения концентрации  $\text{CO}_2$  от 0,03% до 5 % ни для одной из исследуемых культур зафиксирован не был. На основании проведенного исследования можно сделать вывод, что при культивировании микроскопических водорослей культур №1, №3 и №4 добавление углекислого газа в концентрации 5 % оказывает стимулирующее действие на рост биомассы, что подтверждают кривые изменения оптической плотности растворов (рис. 3, 5, 6) и результаты визуального анализа проб.

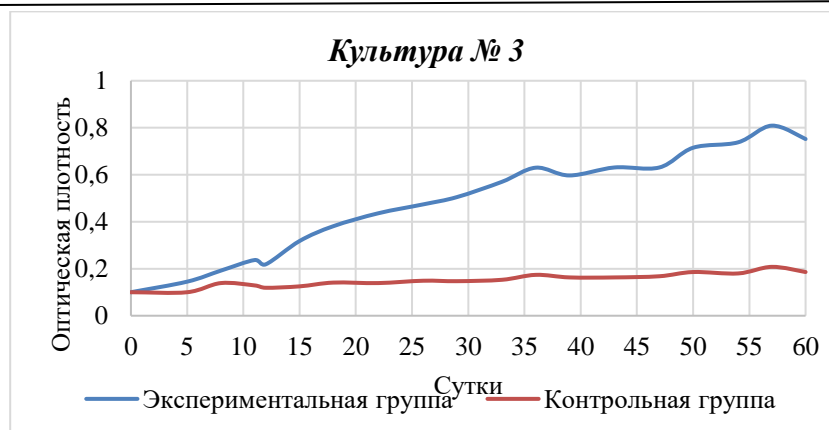


Рис. 5. Изменение оптической плотности культуры № 3: экспериментальная группа – 5 % углекислого газа, контрольная группа – 0,03 % углекислого газа

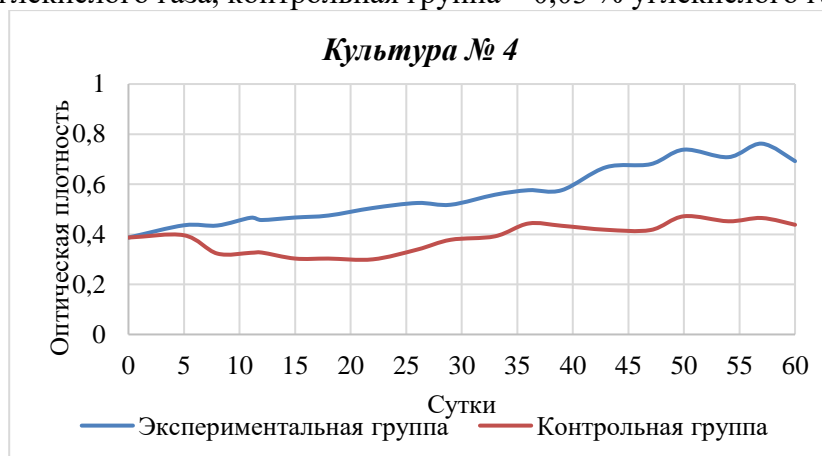


Рис. 6. Изменение оптической плотности культуры № 4: экспериментальная группа – 5 % углекислого газа, контрольная группа – 0,03 % углекислого газа

Наилучший результат по увеличению растительной биомассы наблюдался у культуры № 3 и составлял 0,809 ед., что в 8 раз больше исходного значения (0,1 ед.). Следующим этапом экспериментальных исследований является увеличение концентрации углекислого газа в 2-3 раза, что позволит определить наиболее эффективные культуры для биофиксации углерода и применения их для очистки газовых выбросов на предприятии. Полученную растительную биомассу микроводорослей можно использовать в качестве удобрений в сельском хозяйстве, получения кормовой добавки в животноводстве, а также для очистки от загрязнений в области охраны окружающей среды.

### Библиографический список

1. Патент № 2 797 838, Российская Федерация, B01D 53/62 (2022.08); B01D 53/84 (2022.08). Способ утилизации углекислого газа с применением микроводоросли рода *Chlorella*: № 2022119015 : заявл. 12.07.2022 : опубл. 08.06.2023 / Политаева Н. А., Жажков В. В., Зибарев Н. В., Вельможина К. А., Шинкевич П. С. – 12 с.
2. В НГТУ разрабатывают способ утилизации CO<sub>2</sub> с помощью микроводорослей // Нижегородский государственный технический университет им. Алексева – URL: <https://www.nntu.ru/news/detail/nauka-i-innovacii/0/v-ngtu-razrabatyvayut-sposob-utilizacii-so2-s-pomoshhyu> (дата обращения: 11.06.2024).
3. Нургалиев Р, Славкина О.В. Технология утилизации дымовых газов с помощью микроводорослей и их переработка в бионефть // Энергетическая политика. – 2024. – №1 (192). – С. 28-37.