

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО УЛАВЛИВАНИЯ CO<sub>2</sub> В ВОЗДУХЕ ПОМЕЩЕНИЙ: АНАЛИЗ РЫНКА

*П.С. Шинкевич, К.А. Вельможина, А.И. Петрова, Н.А. Политаева*  
*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,*  
*ps.shinkevich@gmail.com*

В статье представлены результаты анализа рынка в фотобиореакторов-биофильтров с микроводорослями для снижения концентрации CO<sub>2</sub> в помещениях в России и Индии. Выявлены рыночные ниши и наиболее перспективные направления развития сегмента фотобиореакторов-биофильтров на основе микроводорослей.

Ключевые слова: микроводоросли, биофильтры, улавливание CO<sub>2</sub>, очистка воздуха, анализ рынка.

Рост концентрации CO<sub>2</sub> в воздухе атмосферы вызывает серьезную научную и общественную обеспокоенность в связи с тем, что углекислый газ выступает ключевым парниковым газом, способствующим наращиванию теплоудерживающих свойств воздушного бассейна и ускорению глобального потепления [1]. Скопление парниковых газов (в частности CO<sub>2</sub>) в атмосфере ведёт к увеличению средней глобальной температуры, что вызывает катастрофические изменения в экосистемах, нарушает устойчивость климатических зон и способствует исчезновению биологических видов [2]. Кроме того, высокое содержание углекислого газа оказывает прямое воздействие на продуктивность и физиологию живых существ. Можно выделить некоторые ключевые последствия пребывания человека в помещении с повышенным содержанием CO<sub>2</sub>, а именно ухудшение когнитивных функций, концентрации внимания и способности принимать решения, а также раздражение дыхательных путей и общее ухудшение самочувствия [3].

Существующие системы очистки воздуха, принцип действия которых основан на традиционных методах физико-химической обработки газовых смесей, обладают рядом недостатков, связанных с высокими эксплуатационными затратами, а также с образованием вторичных газовых загрязнителей. Для преодоления вышеперечисленных проблем в последние

годы активное внимание уделяется биологическим методам очистки воздуха с применением растений и микроорганизмов. В этом контексте микроводоросли рассматриваются в качестве перспективной, высокоэффективной и экологически безопасной технологии улавливания  $\text{CO}_2$  и одновременного его преобразования в биомассу [4]. Данный метод отличается небольшим энергопотреблением для культивирования микроводорослей и высокой эффективностью клеточного фотосинтеза (~12%) [5]. Исследования свидетельствуют, что микроводоросли примерно в 50 раз более эффективны, чем наземные растения, в сокращении выбросов  $\text{CO}_2$  и способны поглотить до 85% выбросов углекислого газа [6]. Фотосинтезирующие микроорганизмы (микроводоросли) можно рассматривать как самовоспроизводящиеся машины, которые преобразуют солнечный свет и  $\text{CO}_2$  в продукты с добавочной стоимостью (биодизель 3-го поколения, органические удобрения, корма для сельскохозяйственных животных и аквакультур, фармацевтические препараты, пигменты, биологически активные вещества и т.д. [7, 8]).

Таким образом, для снижения концентрации  $\text{CO}_2$  предлагается внедрение фотобиореакторов-биофильтров открытого типа с использованием микроводорослей, принцип действия которых основан на способности микроводорослей поглощать углекислый газ в процессе своего культивирования [9]. Фотобиореактор-биофильтр может быть использован в помещениях различного назначения для снижения концентрации углекислого газа и увлажнения воздуха. Биомасса микроводорослей, образуемая в процессе эксплуатации фотобиореактора-биофильтра, может быть использована в качестве кормовой добавки для аквариумных рыбок, удобрения для домашних растений (если предполагается установка фотобиореактора-биофильтра в офисных/жилых помещениях), или использоваться в качестве сырья для получения биотоплива (если предполагается установка фотобиореактора-биофильтра на промышленных предприятиях).

Целью данного исследования является анализ рынка устройств, поглощающих углекислый газ, в России и Индии для определения актуальности продукта, а также потребностей целевой аудитории.

#### *Обзор рынка в России*

В данный момент ниша фотобиореакторов-биофильтров на российском рынке не занята. Самым ближайшим аналогом для сравнения цены может являться бытовой увлажнитель воздуха. Однако, за аналогичную стоимость фотобиореактор-биофильтр может выполнять на порядок больше функций: увлажнение, утилизация углекислого газа, производство биомассы, выделение кислорода. Таким образом, фотобиореактор-биофильтр является не просто техническим устройством, а элементом экологической инфраструктуры, способствующим восстановлению экологического баланса в условиях урбанизированной среды.

Рынок бытовых очистителей и увлажнителей воздуха делится на две категории: бытовые очистители и бытовые увлажнители воздуха. Самой крупной категорией рынка бытовых увлажнителей и очистителей воздуха являются бытовые увлажнители воздуха, к которым относятся увлажнители

воздуха и увлажнители воздуха с функцией ароматизации. В структуре импорта категории «бытовые увлажнители воздуха» в 2020 г. в натуральном выражении сегмент «увлажнители воздуха» занял долю 99,4% [10].

Категория бытовых очистителей воздуха представлена несколькими сегментами: очистители воздуха и очистители-увлажнители воздуха. Причем в структуре импорта в 2020 г. в натуральном выражении доля сегмента «очистители воздуха» составляет 44,5% [11].

Согласно расчетам Discovery Research Group, объем рынка бытовых очистителей воздуха в России в 2020 г. составил 380 158 шт. В отчете, подготовленном агентством, представлена подробная информация о производстве, импорте, экспорте и рынке в целом как в натуральном, так и в стоимостном выражении. Объем рынка бытовых увлажнителей воздуха в 2020 г. достиг отметки \$24 306 тыс. [12].

Объемы производства бытовых очистителей и увлажнителей воздуха в России по отношению к объемам рынка очень незначительны. Определяющим на обоих рынках является импорт. В 2020 г. объем выпуска бытовых очистителей составил порядка 8 184 шт. Объем экспорта очистителей и увлажнителей воздуха из России незначителен. В экспорте очистителей воздуха в 2020 г. наибольшую долю заняли бытовые очистители воздуха без функции увлажнения. Объем и темп прироста рынка бытовых очистителей воздуха в России в 2014-2020 гг., шт. и % представлены на рисунке.

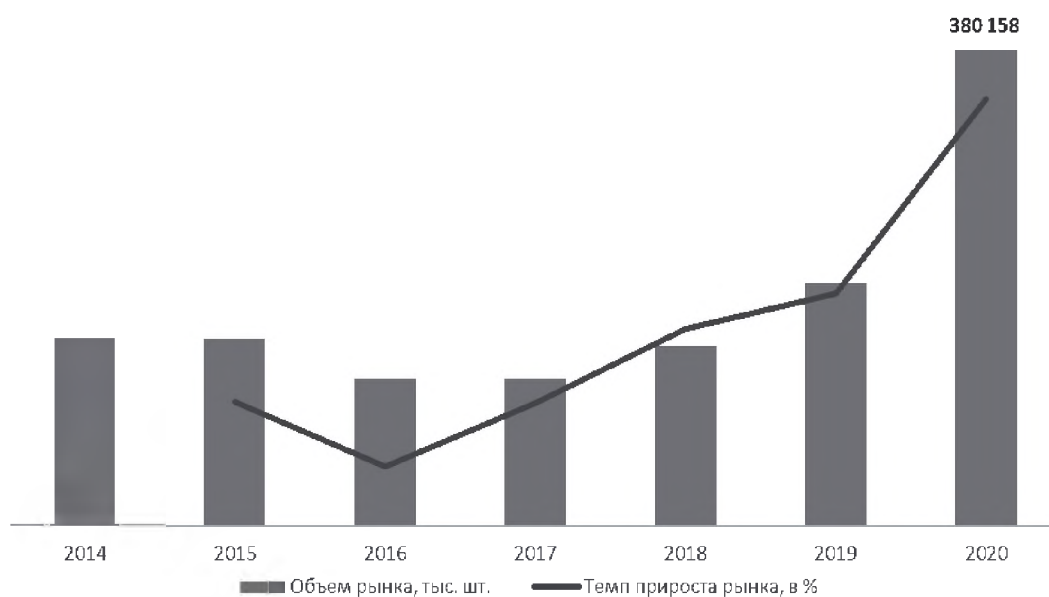


Рис. Объем и темп прироста рынка бытовых очистителей воздуха в России в 2014-2020 гг.

Основными игроками на рынке фотобиореакторов-биофильтров в России являются компании, специализирующиеся на производстве и продаже экологических технологий и устройств для очистки воздуха и воды. Однако, большинство из них сосредоточены на других типах фильтров, что создает

пространство для новичков с инновационными подходами, такими как фотобиореактор-биофильтр с использованием микроводорослей.

С учетом увеличивающейся потребности в борьбе с загрязнением воздуха и углекислым газом, а также стремлением к устойчивому развитию, можно ожидать, что спрос на фотобиореакторы-биофильтры будет расти в ближайшие годы. С учетом этого, разработка и внедрение инновационных решений, таких как устройство, описанное в данном проекте, может стать ключевым конкурентным преимуществом на рынке. Устройство также способствует переходу к циркулярной экономике за счёт повторного использования образующейся биомассы и минимизации отходов. Этот подход поддерживает принципы нулевого загрязнения и устойчивого потребления ресурсов.

#### *Обзор рынка в Индии*

В 2021 году общий объем выбросов углекислого газа в Индии составил около 2797 миллионов метрических тонн (МТ), что превысило выбросы региона в 2020 году на 2494 МТ [13]. Увеличение выбросов углекислого газа в стране отражает тот факт, что страна сильно зависит от использования угля, сырой нефти и природного газа для различных целей, которые при сжигании выделяют в атмосферу углекислый газ и другие вредные газы.

В 2021 году потребление угля в Индии составило 20,09 эДж, что превысило потребление угля в 2020 году (17,40 эДж). Растущая доля потребления угля в Индии, при сжигании которого выделяется углекислый газ и другие газы, напрямую влияет на качество воздуха в стране и, вероятно, будет стимулировать рынок очистителей воздуха в стране.

Ожидается, что в течение прогнозируемого периода среднегодовой темп роста индийского рынка очистителей воздуха составит более 5%. Основные потребители фотобиореакторов-биофильтров в Индии – это промышленные предприятия, жители жилых и коммерческих зданий.

Выводы по обзору рынка говорят о перспективности развития сегмента фотобиореакторов-биофильтров в Индии. Возросшая осведомленность о проблемах окружающей среды и желание улучшить качество воздуха создают благоприятные условия для внедрения таких устройств. Кроме того, планируемые меры по снижению выбросов углекислого газа и стимулирование экологически чистых технологий также способствуют росту спроса на фотобиореакторы-биофильтры.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (Соглашение № 24–17–20004 от 12.04.2024).

#### *Библиографический список*

1. Снакин В. В. Низкоуглеродная энергетика и глобальное потепление климата // Жизнь Земли. 2024. Т. 46, №1. С. 4-19. doi: 10.29003/m3770.0514-7468.2024\_46\_1/4-19
2. Мартынюк Т. А. Парниковый эффект-экологическая проблема современного общества // Язык. Общество. Медицина. 2015. С. 132-134.

3. Пронина Т. Н., Карпович Н. В., Полянская Ю. Н. Уровень содержания углекислого газа в учебных помещениях и степень комфорта учащихся // Вопросы школьной и университетской медицины и здоровья. 2015. Т. 3. С. 32-35.
4. Carbon Dioxide Utilization Using Chlorella Microalgae / Politaeva N. A., Ilin I. V., Velmozhina K. A., Shinkevich P. S. // *Environments*. 2023. Vol. 10. No. 7. P. 109. doi: 10.3390/environments10070109
5. Роль микроводорослей в современных технологиях фиксации и утилизации углекислого газа / Шинкевич П. С., Вельможина К. А., Политаева Н. А., Чусов А. Н. // *Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология*. 2024. Т. 10, №427. С. 154–166. doi: 10.15518/isjaee.2024.10.154-166
6. Ilvitskaya S. V., Chistyakova A. G. Application of microalgae in bioenergy using carbon capture and storage technology // *International Research Journal*. 2021. Vol. 11. No. 113. doi: 10.23670/IRJ.2021.113.11.017
7. Nutrients recovery from dairy wastewater by *Chlorella vulgaris* and comparison of the lipid's composition with various chlorella strains for biodiesel production / Zibarev N. V., Toumi A. T., Politaeva N. A., Iljin I. V. // *Plos one*. 2024. Vol. 19. No. 4. doi: 10.1371/journal.pone.0297464
8. Соловьёва А. С., Рудакова Л. В. Перспективы использования микроводорослей для утилизации выбросов углекислого газа // *Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды*. 2022. С. 358-362.
9. Способ утилизации углекислого газа с применением микроводоросли рода *Chlorella* / Политаева Н. А., Жажков В. В., Зибарев Н. В., Вельможина К. А., Шинкевич П. С. // Патент на изобретение № 2797838 С1. 2022.
10. Анализ рынка бытовых очистителей и увлажнителей воздуха в России [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.cfin.ru/base/search\\_release.php?release\\_id=46530](https://www.cfin.ru/base/search_release.php?release_id=46530) (дата обращения: 20.09.2025).
11. Анализ рынка бытовых очистителей и увлажнителей воздуха в России (с базой импорта-экспорта) [Электронный ресурс]. – URL: <https://drgroup.ru/451-analiz-rinka-bitovix-ochistitelei-i-uvlajnitelei-vozduha-v-rossii.html?ysclid=mftb9zue9i234256941> (дата обращения: 20.09.2025).
12. Анализ рынка бытовых очистителей и увлажнителей воздуха в России [Электронный ресурс]. – URL: [https://report.ru/research/analiz\\_rynka\\_bytovyh\\_ochistitelei\\_i\\_uvlazhnitelei\\_vozduha\\_v\\_rossii-211857026/](https://report.ru/research/analiz_rynka_bytovyh_ochistitelei_i_uvlazhnitelei_vozduha_v_rossii-211857026/) (дата обращения: 20.09.2025).
13. Greenhouse gas emissions in India in selected years between 1990 and 2021, by sector [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.statista.com/statistics/1282650/india-ghg-emissions-by-sector/> (дата обращения: 21.09.2025).