

МИКРОВОДОРОСЛИ CHLORELLA VULGARIS В ПРОЦЕССЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ

Тяжёлые металлы являются одним из наиболее опасных загрязнителей водных экосистем, они способны накапливаться в количествах, многократно превышающих их содержание в водных объектах, образуя токсичные соединения и ингибируя биологические функции организма. В настоящее время предприятия используют физические, химические, физико-химические методы очистки, однако в последнее время большую популярность приобретают биосорбционные методы, основанные на способности биологических материалов накапливать тяжёлые металлы [1].

Процесс биосорбция тяжёлых металлов микроводорослями обусловлен функциональными группами клеточной стенки, действующими как сайты связывания. На эффективность биосорбции оказывают влияние факторы окружающей среды. Оптимальные показатели рН находятся в пределах от 6,5 до 8,5. Низкий рН удерживает металлы в растворе, подавляет микробную активность и увеличивает конкуренцию между катионами за сайты связывания, что приводит к снижению эффективности биосорбции. Оптимальные значения температуры составляют 20...35⁰С. При повышении температуры увеличивается поверхностная активность и кинетическая энергия, при этом структурная целостность биосорбента необратимо повреждается. Высокие концентрации биомассы и малые размеры частиц биосорбента, обеспечивают увеличение площади поверхности и улучшения контакта между металлом и сорбентом, что повышает эффективность биосорбции. Присутствие в растворе нескольких ионов металлов, играет косвенную роль и не влияет на общую способность связывания металлов. Металлы сорбируются живыми и мёртвыми клетками, при этом мёртвая биомасса, как правило, обладает большей сорбционной способностью. Преимущества микроводорослей перед другими организмами заключаются в высокой удельной скорости роста, простому клеточному циклу, кроме того, они не претерпевают морфологических изменений [2,3].

Хлорелла (*Chlorella*) – род одноклеточных зелёных водорослей, отдел Chlorophyta, порядок Chlorococcales, семейство Chlorellaceae. Род *Chlorella* включает около 20 видов одноклеточных водорослей, диаметр клеток 1,5...10 мкм. В состав водорослей входят белки

(40...60%), углеводы (8...30%), липиды (5...60%), пигменты, антиоксиданты, жирные кислоты и витамины. Известно, что элементный состав микроводорослей изменяется в зависимости от условий культивирования, вследствие физиологических механизмов адаптации, обусловленных доступностью питательных веществ. Основным компонентом белков и пигментов является азот, дефицит азота вызывает снижение скорости фотосинтеза, деструкцию фикобилизом, накопление вторичных каротиноидов, увеличение синтеза углеводов и липидов. Свет является основным источником энергии у фототрофных микроорганизмов, с доступностью света связан процесс фотоакклиматизации под действием которого происходит изменение биохимических и структурных характеристик [4, 5].

Целью исследования являлось изучение биосорбции ионов железа (Fe^{3+}) микроводорослями *Chlorella vulgaris*, под действием физических и химических факторов.

В экспериментах были использованы модельные растворы с концентрацией ионов железа (Fe^{3+}) 15 мг/л, в качестве сорбента использовали микроводоросли *Chlorella vulgaris*, с концентрацией не менее 10^6 кл/мл. В качестве питательной среды использовали комплексное удобрение, с концентрацией азота 0,5 и 3,0 г/л. Продолжительность эксперимента составляла 120 часов, температура $25 \pm 2^\circ\text{C}$, с фотопериодами 12 и 24 часа, в качестве источника света были использованы светодиодные лампы. Аэрацию осуществляли атмосферным воздухом.

Максимальное значение биосорбции ионов железа (Fe^{3+}) микроводорослями (рисунок 1) приходится на период от 12 часов (50%) до 72 часов (78,6 %).

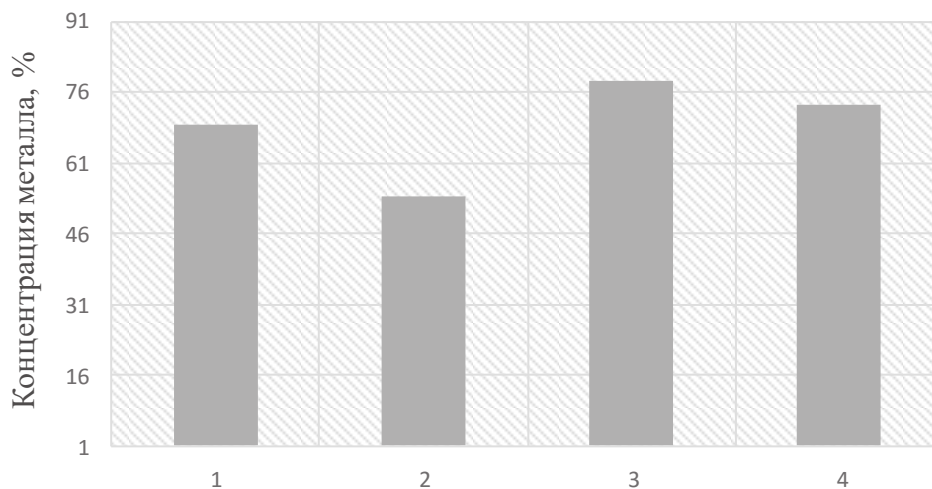


Рисунок 1 – Концентрация Fe (III) в модельных растворах через 72 часа

При непрерывном освещении и концентрации общего азота 3,0 и 0,5 г/л степень извлечения ионов железа составила 69,3% (проба 1) и 78,6% (проба 3) соответственно. В образцах 2 и 4 при концентрации азота 3,0 и 0,5 г/л, с фотопериодом 12 часов эффективность сорбции составила 54 и 73,3%.

В работе было изучено влияние факторов среды на сорбционную способность микроводорослей *Chlorella vulgaris*. По результатам проведённых опытов можно заключить, что высокой сорбционной способностью характеризовались образцы с пониженной концентрацией азота, что связано увеличением количества деацетилированных аминогрупп, имеющих повышенное сродство к катионам Fe^{3+} .

ЛИТЕРАТУРА

1. Shrestha, R. Technological trends in heavy metals removal from industrial wastewater: A review / R. Shrestha, S. Ban, S. Devkota, S. Sharma, R. Joshi, A. P. Tiwari, H. Y. Kim, M. K. Joshi // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2021. – Vol. 9, № 4.
2. Santos, S. C. R. Macroalgae Biomass as Sorbent for Metal Ions / S. C.R. Santos, G. Ungureanu, I. Volf, R. A. R. Boaventura, C. M.S. Botelho // *Biomass as Renewable Raw Material to Obtain Bioproducts of High-Tech Value*. – 2018. – P. 69 – 112.
3. Masojídek, J. Mass Cultivation of Freshwater Microalgae / J. Masojídek, G. Torzillo // *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. – 2014.
4. Silva, J. *Chlorella* / Nonvitamin and Nonmineral Nutritional Supplements / J. Silva, C. Alves, S. Pinteus, J. Reboleira, R. Pedrosa, S. Bernardino // *Nonvitamin and Nonmineral Nutritional Supplements*. – 2019. P. 187 – 193.
5. Mohsenpour, S. F. Integrating micro-algae into wastewater treatment: A review / S. F. Mohsenpour, S. Hennige, N. Willoughby, A. Adeloye, T. Gutierrez // *Science of The Total Environment*. – 2020. – Vol. 752.