

БИОЭЛЕКТРОГЕНЕЗ МИКРОБНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРИСУТСТВИИ *SHEWANELLA ONEIDENSIS* MR-1 И НЕКОТОРЫХ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Гасюк О.А., Волченко Н.Н., Лазукин А.А., Самков А.А., Худокормов А.А.

Кубанский государственный университет

ул. Ставропольская, 149, г. Краснодар, 350040, РФ; e-mail: olgagasyuk2000@yandex.ru

Поступила в редакцию 22.07.2022. DOI: 10.29039/rusjbpс.2022.0551

Аннотация. Высокая антропогенная нагрузка на внешнюю среду вынуждает разрабатывать новые способы очистки окружающей среды. Одним из перспективных методов в процессах ремедиации является использование живых организмов. Так практически для каждого загрязнителя возможно подобрать соответствующий штамм микроорганизмов, способный разлагать те или иные поллютанты. В исследовании использовались микробные топливные элементы бентосного типа, как перспективные биоинженерные системы, которые можно будет применять в различных сферах человеческой жизни – медицина, очистка и мониторинг окружающей среды, в «интернете вещей» и т.д. К тому же электрогенный потенциал, создаваемый при помощи МТЭ будет способствовать миграции тяжёлых металлов в сторону анода, что позволит упростить процесс их изъятия из окружающей среды или же включения в пищевые цепи анодофильной микробиоты. В результате проведенного исследования было выяснено, что наиболее эффективными в конструкции МТЭ являются электроды горизонтального типа. Так же поллютанты со временем начинают оказывать негативное влияние на биоэлектрогенез микробных топливных элементов и соответственно на местную микробиоту.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, микробные топливные элементы, электроды, биоремедиация, биоэлектрогенез.

На сегодняшний день окружающая среда подвержена сильной антропогенной нагрузке. Различные поллютанты (СПАВ, углеводороды, тяжёлые металлы, пестициды и т.д.) постоянно поступают во внешнюю среду в различных концентрациях. Среди загрязнителей особую опасность представляют тяжёлые металлы (ТМ), так как относятся к рекальцитрантным ксенобиотикам и из окружающей среды полностью не удаляются. Поэтому актуальной задачей является разработка методов по удалению ТМ из окружающей среды. Ведущим направлением в очистке окружающей среды является использование живых организмов в процессах ремедиации. В настоящее время в биоремедиации могут использоваться грибы, бактерии, растения, беспозвоночные животные. Одним из перспективных направлений являются микробиологический метод по удалению поллютантов из среды, так как последние могут быть включены в пищевые цепи бактерий.

Микробные топливные элементы (МТЭ) являются перспективными биоинженерными системами. Данные устройства могут быть использованы как источник энергии, в процессах мониторинга и очистки окружающей среды, в медицине, в «интернете вещей» и т.д. МТЭ могут стать незаменимым компонентом в процессах биоремедиации окружающей среды за счёт происходящих в них биоэлектрохимических процессов. К тому же благодаря создающемуся в МТЭ электрогенному потенциалу возможна миграция катионов тяжёлых металлов в сторону анода, что позволит анодофильной микробиоте использовать их в процессе своей жизнедеятельности, также катионы ТМ могут быть извлечены из окружающей среды. Однако, в свою очередь вещества-токсиканты могут подавлять активность электрогенной микрофлоры, поэтому важно изучить влияние различных поллютантов на биоэлектрогенез.

В данном исследовании использовались микробные топливные элементы бентосного типа с электродами горизонтальной и вертикальной конструкции. В качестве соединений-поллютантов использовались Pb^{2+} , Cu^{2+} и Ni^{2+} в концентрации 7 ПДК для иона каждого металла. В качестве донного грунта использовался песок поймы р. Кубань. Электроды изготавливались из углеродного войлока «Карбопон» и графитовых стержней. Анодный электрод пропитывался суспензией микробной культуры *Shewanella oneidensis* MR-1 (ВКПРМ № В-9861), известной своими электрогенными свойствами. Так же известно, что данный штамм способен использовать тяжёлые металлы в анаэробных условиях в качестве акцепторов электронов, восстанавливая их до менее токсичных соединений. Электрический потенциал, создаваемый в микробных топливных элементах (под нагрузкой в 1 кОм), фиксировался автоматическим вольтметром авторской конструкции А.А. Лазукина.

Средние значения потенциала, полученное за 10 суток с МТЭ с горизонтальными электродами в присутствии свинца составило 250,1 мВ, никеля – 380,8 мВ, меди – 413,2 мВ (рисунок 1). Максимальный вольтаж, полученный с данных устройств, был для: Pb^{2+} – 416,9 мВ, Ni^{2+} – 488,3 мВ, Cu^{2+} – 590,6 мВ. При этом наиболее негативный эффект на биоэлектрогенез оказывал свинец.

За 10 суток среднее значение напряжение МТЭ с вертикальными электродами составило: для свинца – 124,7 мВ, никеля – 65,1 мВ, меди – 43,7 мВ. Наибольшее значение биоэлектрогенеза, полученное с данных устройств составило: Pb^{2+} – 191,4 мВ, Ni^{2+} – 158,6 мВ, Cu^{2+} – 70,5 мВ. В данных устройствах наиболее выраженный негативный эффект на электрогенез МТЭ был оказан катионами меди, что видно из рисунка 2.

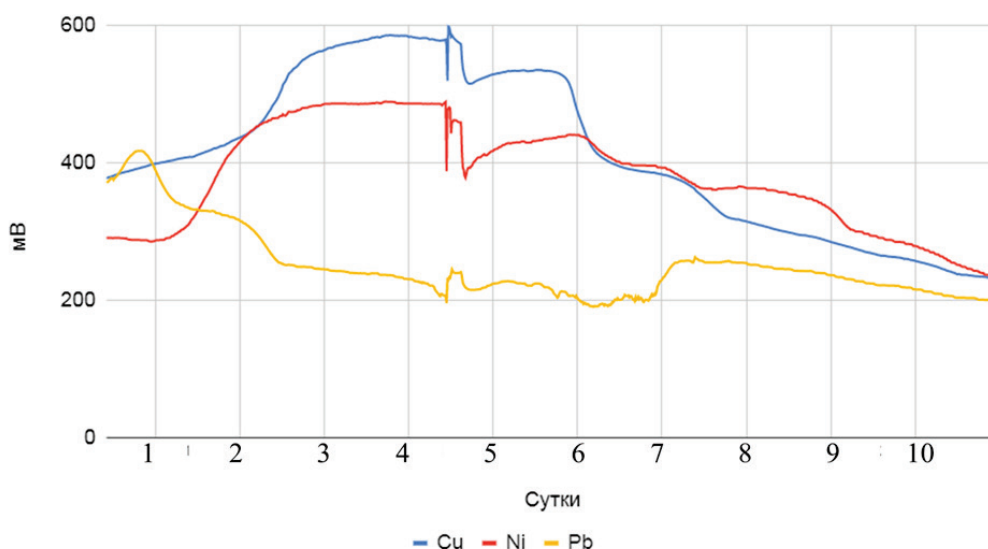


Рисунок 1. Биоэлектродгенез МТЭ с горизонтальными электродами, с внесением *S. oneidensis* MR-1, в присутствии тяжелых металлов в течение первых 10 суток

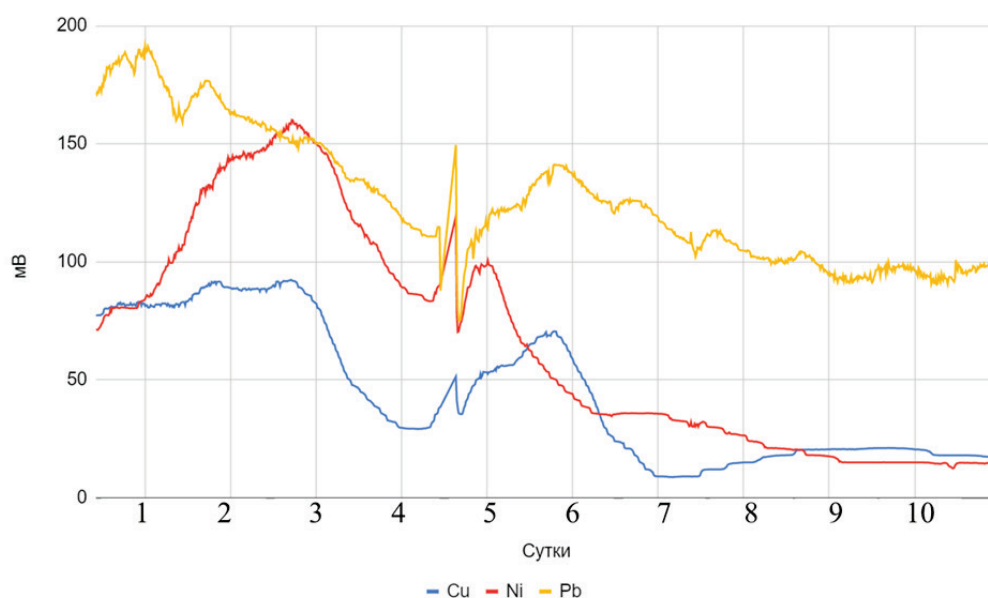


Рисунок 2. Биоэлектродгенез МТЭ с вертикальными электродами, с внесением *S. oneidensis* MR-1 в присутствии тяжелых металлов в течение первых 10 суток

По прошествии месяца в МТЭ с горизонтальными электродами среднее значение биоэлектродгенеза за 10 суток составил: в присутствии свинца – 102,8 мВ, никеля – 202,5 мВ, меди – 68,9 мВ (рис. 3). Максимальное напряжение в присутствии поллютантов составило: для Pb^{2+} – 122,1 мВ, Ni^{2+} – 335,4 мВ, Cu^{2+} – 75,9 мВ. Наибольшее падение электрогенеза (в 7,8 раз) наблюдается в присутствии ионов меди, что говорит о сильном негативном воздействии данного металла на микробиоту МТЭ.

Среднее значение биоэлектродгенеза (10 суток) МТЭ с вертикальными электродами спустя месяц составило: для свинца – 14,2 мВ, никеля – 5,3 мВ, меди – 2,7 мВ. Максимальный электрогенез для данных устройств составил: для Pb^{2+} – 18,1 мВ, Ni^{2+} – 6,4 мВ, Cu^{2+} – 3,1 мВ. В данных МТЭ самый низкий электрогенез сохраняется в присутствии ионов меди, а наибольший сохранился в присутствии солей свинца. Полученные данные представлены на рисунке 4.

Таким образом, наибольший электрогенез был получен с МТЭ с горизонтальными электродами. При этом с горизонтальными электродами наибольшие показатели электрического потенциала дали микробные топливные элементы, где в качестве поллютанта использовались ионы никеля, тогда как МТЭ с вертикальными электродами наилучшие значения показали в присутствии ионов свинца. При этом самые низкие значения биоэлектродгенеза было выявлено с ионами меди, как в МТЭ с горизонтальными, так и вертикальными электродами. Медь оказывала наиболее негативный эффект на электрогенез микробных топливных элементов и можно предположить, что и на микробиоту данных устройств. Так величина электрогенеза в присутствии того или иного иона металла зависит от типа электродов и так же от микробиоты микробного топливного элемента.

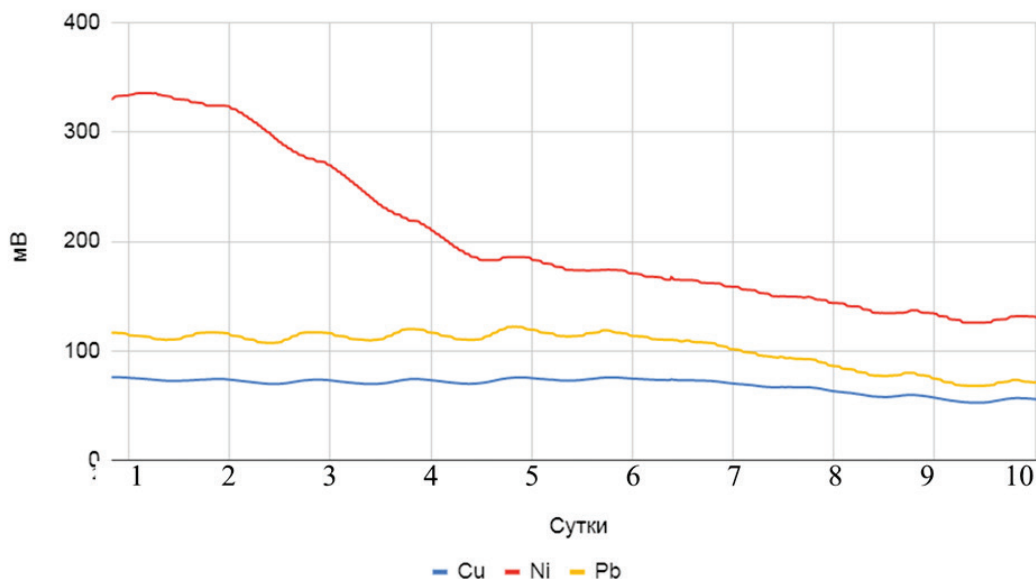


Рисунок 3. Биоэлектрогенез МТЭ с горизонтальными электродами и штаммом *S. oneidensis* MR-1 в присутствии тяжелых металлов в течение 10 суток спустя месяц эксперимента

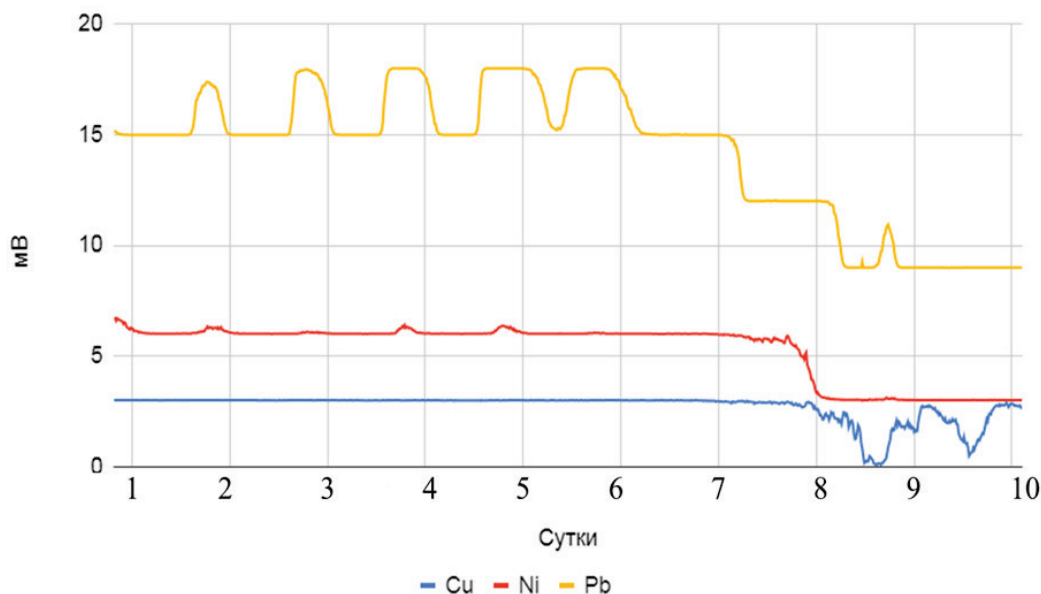


Рисунок 4. Биоэлектрогенез МТЭ с вертикальными электродами и лабораторным штаммом *S. oneidensis* MR-1 в присутствии тяжелых металлов в течение 10 суток спустя месяц эксперимента

Так же значения электрогенеза с течением времени значительно снизились по сравнению с первыми 10 сутками эксперимента. Уменьшение электрогенеза может быть связано с уменьшением свободных катионов металлов в среде, в результате метаболической активности штамма *S. oneidensis* MR-1, так как из некоторых литературных источников известно, что некоторых катионом ТМ могут оказывать стимулирующее воздействия на электрогенез МТЭ и максимальная величина напряжения регистрируется при восстановительных процессах катионов металлов из растворимого состояние в нерастворимое.

Таким образом, биотопливные элементы бентосного типа способны функционировать в присутствии загрязнения донных осадках тяжелыми металлами как минимум в концентрации до 7 ПДК. Факт частичного подавления биоэлектрогенеза может быть использован в дальнейшем для применения МТЭ в режиме неселективного биосенсора непрерывного действия, расположенного постоянно в окружающей среде. В рамках дальнейших исследований будет определено влияние биоэлектрических процессов на пространственное распределение тяжелых металлов в донном грунте.

Список литературы / References:

1. Fadzli F.S., Rashid M., Yaqoob A., Mohamad Ibrahim M.N. Electricity generation and heavy metal remediation by utilizing yam (*Dioscorea alata*) waste in benthic microbial fuel cells (BMFCs). *Biochemical Engineering Journal*, 2021, vol. 172, doi: 10.1016/j.bej.2021.108067.

2. Yu-Shang Xu, Tao Zheng, Xiao-Yu Yong, Dan-Dan Zhai, Rong-Wei Si, Bing Li, Yang-Yang Yu, Yang-Chun Yong. Trace heavy metal ions promoted extracellular electron transfer and power generation by *Shewanella* in microbial fuel cells. *Journal Bioresource Technology*, 2016, vol. 211, doi: 10.1016/j.biortech.2016.03.144.

BIOELECTROGENESIS OF MICROBIAL FUEL CELLS IN THE PRESENCE OF *SHEWANELLA ONEIDENSIS* MR-1 AND SOME HEAVY METALS

Gasyuk O.A., Volchenko N.N., Lazukin A.A., Samkov A.A., Khudokormov A.A.

Kuban State University

st. Stavropolskaya, 149, Krasnodar, 350040, Russia; E e-mail: olgagasyuk2000@yandex.ru

Received 22.07.2022. DOI: 10.29039/rusjbpс.2022.0551

Abstract. The high anthropogenic load on the environment makes it necessary to develop new ways of cleaning the environment. One of the promising methods in remediation processes is the use of living organisms. So, for almost every pollutant, it is possible to select the appropriate strain of microorganisms capable of decomposing certain pollutants. The study used benthic-type microbial fuel cells as promising bioengineering systems that can be applied in various areas of human life - medicine, cleaning and environmental monitoring, in the Internet of Things, etc. In addition, the electrogenic potential created by MFC will facilitate the migration of heavy metals towards the anode, which will simplify the process of their removal from the environment or inclusion in the food chains of anodophilic microbiota. As a result of the study, it was found that the most effective in the design of the MFC are horizontal electrodes. Also, pollutants eventually begin to have a negative impact on the bioelectrogenesis of microbial fuel cells and, accordingly, on the local microbiota.

Key words: *heavy metals, microbial fuel cells, electrodes, bioremediation, bioelectrogenesis.*