

# ВЫСОКОАКТИВНЫЕ ВОДОРОДНЫЕ ФЕРМЕНТНЫЕ ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ БИОВОДОРОДА, ПОЛУЧЕННОГО ПРИ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ.

Воронин О.Г.<sup>1</sup>, Абрамов С. М.<sup>2</sup>, Шестаков А.И.<sup>2</sup>, Карякин А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, кафедра химической энзимологии

<sup>2</sup> Биологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, кафедра микробиологии

Переработка отходов – одна из ключевых проблем, стоящих перед человечеством. На сегодняшний день в мире существуют всего 4 основных, широко распространенных метода утилизации отходов: путем захоронения на свалках (54,3%), рециклинга (23,8%), компостирования (8,4%) и сжигания (13,6%). Общими недостатками для всех указанных выше методов являются загрязнение окружающей среды токсичными веществами и невозможность обеспечить окупаемость экологических мероприятий. Известно, что значительная часть отходов является питательной средой для бактериальных сообществ, в том числе выделяющих водород. Себестоимость выделяемого ими водорода крайне низка, но он значительно загрязнен побочными продуктами жизнедеятельности бактерий, что не позволяет использовать его без дополнительной очистки в традиционных системах, таких как низкотемпературные топливные элементы либо сжигать.

Ранее в нашей лаборатории было показано, что подобные проблемы успешно решаемы при использовании биоэлектродкатализа. Гидрогеназа (фермент, катализирующий в природе реакции окисления/выделения водорода) может быть использована для катализа электродной реакции окисления водорода. Явление биоэлектродкатализа основано на непосредственном переносе электрона между активным центром фермента и электродом. Как было установлено нами ранее, гидрогеназа не отравляется монооксидом углерода и соединениями серы, содержащимися в дешевом неочищенном водороде, практически нечувствительна к низким концентрациям кислорода, который может диффундировать в ТЭ через мембрану, снижая общее КПД системы и активна в диапазоне рН, оптимальном для культивирования большинства микроорганизмов. Также, необходимо отметить, что ферменты являются возобновляемым ресурсом, цена которого может быть значительно уменьшена при помощи генно-инженерных методов. Как показывают расчеты, нам удалось добиться максимального заполнения поверхности электрода мономолекулярным слоем активного фермента.

На основе ферментного электрода и реактора с консорциумом гетеротрофных микроорганизмов, перерабатывающих бумажные отходы с выделением водорода, была разработана система непрерывной переработки отходов в электричество без промежуточных стадий. Характеристики системы исследовались в течение 100 часов. Установлено, что гидрогеназный электрод активируется в течение 10 часов с момента посева культуры и удаления кислорода из реактора. При этом полная активация происходит уже при концентрации водорода 0,75%. Показано, что на электроде плотность тока окисления водорода, выделяемого бактериями, достигает 200-300 мкА/см<sup>2</sup>. Исследовано влияние на систему типа субстрата, пробоподготовки, операционная стабильность системы в целом.