



e-ISSN:2582-7219



INTERNATIONAL JOURNAL OF MULTIDISCIPLINARY RESEARCH IN SCIENCE, ENGINEERING AND TECHNOLOGY

Volume 5, Issue 9, September 2022



INTERNATIONAL
STANDARD
SERIAL
NUMBER
INDIA

Impact Factor: 7.54



6381 907 438



6381 907 438



ijmrset@gmail.com



www.ijmrset.com



State and Prospects of the Photosynthetic Method of Converting Electromagnetic Radiation of the Sun into Electric Energy (Review-Research)

N.R.Abdulkhalikova¹, K.T.Suyarov²

Chirchik State Pedagogical University, Republic of Uzbekistan.¹²

ABSTRACT: The work was written with the aim of attracting a wide range of researchers to the development of ways to consume electricity produced by plants. The results of laboratory studies of the accumulation and consumption of energy produced by plants with the help of absorbent electrodes are presented. Ways of developing the accumulation of such energy are outlined. A brief overview of existing and developing methods for obtaining electrical energy by classical and alternative methods is also given. The existing proposals for the generation of electricity using artificial photosynthesis are considered and its possibility is analyzed.

KEYWORDS: Energy, solar energy, efficiency, renewable energy, solar radiation, supercapacitors.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО СПОСОБА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ

(обзор-исследование)

Н.Р.Абдулхаликова¹, К.Т.Суяров²

Чирчикский Государственный Педагогический Университет,
Республика Узбекистан.¹²

Corresponding author email: abdulxalikovanr61@gmail.com

Аннотация. Работа написана с целью привлечения широкого круга исследователей к развитию способов потребления электричества, производимых растениями. Приведены результаты лабораторных исследований аккумуляции и потребления энергии, произведенной растениями, при помощи абсорбирующих электродов. Намечены пути развития аккумуляции такой энергии. Также приведен краткий обзор существующих и разрабатываемых методов получения электрической энергии классическими и альтернативными способами. Рассмотрены имеющиеся предложения по выработке электроэнергии при помощи искусственного фотосинтеза и проанализирована её возможность.

Ключевые слова: Энергия, солнечная энергия, коэффициент полезного действия, возобновляемая энергетика, солнечная радиация, суперконденсаторы.

Введение. Состояние существующих способов энергопреобразования

В связи с неуклонным приростом численности населения Земли наиболее актуальной стороной деятельности человека остается добыча возобновляемой экологически чистой энергии, воды, пригодной для жизнедеятельности, охрана среды обитания, теплоснабжение и производство достаточного количества продуктов питания. Отрицательной стороной этой деятельности является загрязнение атмосферы и природных ресурсов. Приоритетным остается поиск возобновляемых источников энергии, не приносящих вред окружающей среде со способностью параллельного восстановления пострадавших от жизнедеятельности человека природных ресурсов.

В настоящее время значимыми пока ещё остаются ставшие уже классическими гидро и тепло энергетика, атомная энергетика. Появились новые направления: использование возобновляемых источников, таких как - энергия ветра, геотермальные источники, солнечная энергетика и др. Так или иначе все эти способы обладают своими положительными и отрицательными сторонами. Однако, использование энергии Солнца, излучающего громадные потоки энергии, кажется довольно-таки заманчивым, ведь наше Солнце является неисчерпаемым



источником энергии различного вида, но получать эту энергию в и достаточном количестве и рентабельно мы пока не умеем. Разработаны и разрабатываются различные обогреватели воды на основе солнечного излучения, полупроводниковые преобразователи энергии, но все эти устройства пока обладают недостаточным коэффициентом полезного действия (КПД) и их производства являются дорогостоящими. Для сравнения: современные солнечные батареи обеспечивают КПД от 12 до 30 %. Недавно научно-исследовательская группа Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB) описала в журнале Science разработку тандемного солнечного элемента из перовскита и кремния. Его КПД составил 29,15% [1-4].

Краткие сведения о фотосинтезе

Первым исследователем фотосинтеза принято считать академика К. А. Тимирязева, показавшего, что хлорофилл является не особенно стойким соединением, срок существования которого находится в пределах 3-4 месяцев (исключение составляют хвойные растения). Многочисленные исследования по созданию искусственного хлорофилла пока не имеют определенных успехов. Электрические токи в растениях были обнаружены также и Антуаном Беккерелем в 1850 году. Однако он ошибочно предположил, что растения являются главным источником атмосферного электричества. В той или иной степени электрические токи были замечены в различных органах растений многими исследователями. Основной причиной неиспользования растительного электричества является сезонный характер: зимой во многих растениях замедляются процессы фотосинтеза и выработки электрического тока. Однако, существуют внесезонные растения, к примеру хвоя, водоросли, кактусы, не листопадные тропические растения и др. Поэтому начиная с 60-х годов прошлого века ученые стали задумываться о том, что использование возможностей фотосинтеза может помочь в решении как энергетических проблем, так и проблем очистки воздуха и обеспечения продовольствием населения. Примерно с этого времени работы по исследованию процессов фотосинтеза стали носить глобальный характер. Целью этих исследований стало копирование природного механизма преобразования энергии электромагнитного излучения (в нашем случае излучения Солнца) в электрическую, как это делают растения, и при этом предполагается, что растения преобразуют до 40-45 % падающего на них света. Фотосинтез – это процесс, при котором растительные организмы могут синтезировать сложные химические соединения – глюкозу, крахмал, белки из неорганических материалов и солнечного излучения и запасать их для дальнейшего потребления. Известно, если бы растения не производили кислород и органические соединения, жизнь на нашей планете была бы не возможна. Т.е. фотосинтез основа нашей жизни. Фотосинтез - это уникальный механизм созданный природой и эволюционировавший миллионы и миллиарды лет. Этот процесс состоит из более 15 сложнейших химических реакций, для воспроизводства которых нужна мощная лабораторная база и время [5-7]. Рассмотрим кратко сведения о фотосинтезе. Как известно, от Солнца и других космических объектов на Землю поступает комплексное электромагнитное излучение. Современные технические средства позволяют фиксировать излучение в диапазоне от 0,001 Å до 1 км.

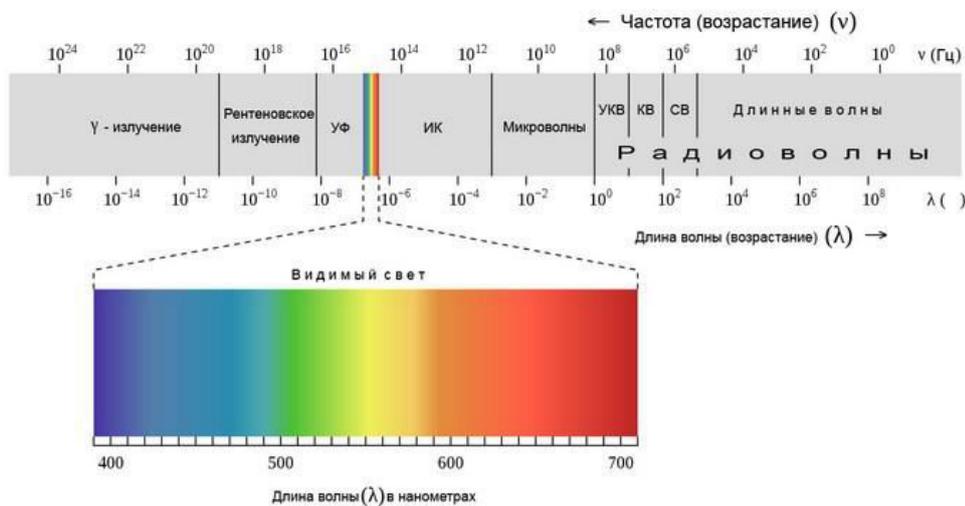


Рис.1. Спектр электромагнитного излучения Солнца
Как видно из приведенной диаграммы диапазон излучения Солнца представляет собой довольно широкий спектр электромагнитного

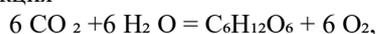
излучения. (атмосфера поглощает значительную его часть). Наша атмосфера прозрачна только для видимого света и ближних ультрафиолетового и инфракрасного излучений, а также для радиоволн в сравнительно узком диапазоне (от сантиметровых до метровых). Все остальное излучение либо отражается, либо поглощается атмосферой, нагревая и ионизуя ее верхние слои.



Поглощение рентгеновских и жестких ультрафиолетовых лучей начинается на высотах 300 - 350 километров; на этих же высотах отражаются наиболее длинные радиоволны, приходящие из космоса. Количество солнечной энергии, приходящейся на поверхность площадью 1 м, развернутую перпендикулярно солнечным лучам на границе земной атмосферы, называется солнечной постоянной. По последним данным, оно составляет 1370 Вт/м^2 с точностью до 0,5% [8]. Искусственные аналоги, разрабатываемые в лабораториях, воспринимающие и преобразующие солнечный свет, претендуют на то, чтобы стать еще более эффективными, чем растения. Не так давно получен синтетический аналог хлорофилла, и это позволяет надеяться на скорое создание органических солнечных батарей, производящих энергию по естественным аналогам и, возможно, более экономичным по сравнению произведенными по полупроводниковым технологиям. В 2006 году командой профессора Макса Кроссли (MaxCrossley) из Сиднейского университета было заявлено о создании искусственного хлорофилла, это обещало воспроизведение фотосинтеза в лабораторных условиях. Хлорофилл, созданный в лаборатории Кроссли, превращал солнечный свет в электрический импульс. Ученым предстояло воспроизвести вторую составляющую фотосинтеза, сохраняющую фотоны звеньев, преобразующих электрон в энергию химической связи. Разработчики предполагали создать органические аккумуляторы, более эффективные экономичные, чем ставшие уже традиционными химические батареи. Руководитель проекта, профессор Макс Кроссли (MaxCrossley) сообщил: «То, что мы рассчитываем получить в конце концов, будет напоминать краску, которой вы сможете покрасить, например, крышу своего дома — с тем, чтобы полностью обеспечить все его энергетические потребности». Вероятно, имелся в виду фотосинтетический пигмент с высокой адсорбционной способностью [9]. Множество исследователей задействовано в области создания искусственного фотосинтеза и ониносят глобальный характер [10-24].

Пути поиска солнечных батарей из органических компонентов

Но на пути к разработке дешевых и эффективных солнечных батарей из органических компонентов исследователям и разработчикам потребуется выполнить комплекс сложнейших задач. Главная задача – создание адсорбирующей поверхности (электроды) для максимального поглощения фотоэлектронов, генерированных фотосинтезом. Кроме того, необходимо разработать механизм контролирующей количество активных молекул, взаимодействующих с солнечным излучением. Таким образом, задача преобразования электромагнитного излучения Солнца в электрическую энергию приобретает еще иматериаловедческую основу. Расположение молекул в создаваемой поверхности должно быть таковым, чтобы излучение могло проходить как можно глубже в структуру активного покрытия для повышения КПД на выходе [13]. Т.е. предстоит синтезировать довольно-таки пористую и прозрачную структуру. Рассмотрим некоторые полученные в этом направлении результаты. В 2010 году в исследовании, проведенном в университете штата Мэриленд. Показано, что фотосинтезирующие цианобактерии вносят значительнейший вклад в глобальный цикл углерода, и осуществляют около 20-30 % от общего запаса энергии света в энергию химических связей с интенсивностью порядка ~450 тераватт. В этом же исследовании приведена общая фотосинтетическая продуктивность Земли, которая составляет порядка ~1500-2250 тераватт в год. Учитывая, что мощность солнечной радиации, достигающей поверхности Земли, составляет 178 000 тераватт, общая эффективность фотосинтеза на планете находится между 0,84 % и 1,26 % [13]. Кроме того, оказалось, что интенсивность фотосинтеза зависит от вида растения и освещенности. При освещенности более 10000-40000 люкс нарастание фотосинтеза прекращается. Получается, что растения могут использовать лишь небольшую долю (примерно до 20%) от общего дневного солнечного излучения [14]. Но в настоящее время пока нет способов прямого измерения того количества света, которые поглощают растения. Попробуем разобраться с физической и химической стороной явлений, происходящих в приповерхностных слоях растений под действием солнечного света. Очевидным фактом является то, что хлоропласты растений можно ассоциировать приемной антенной для электромагнитного излучения определенных длин волн, исходящего от Солнца (в пределах 400-700 нанометров). Какой диапазон длин волн видимого диапазона при этом используется? Итак, согласно исследованиям биофизиков, влияние на фотосинтетические реакции оказывает только видимая часть спектра электромагнитного спектра, и только в длинах волн соответствующих от фиолетового до голубого и от оранжевого до красного. Т.е. растения поглощают энергию именно этих диапазонов, для фотохимических процессов. Зеленый цвет отражается растениями и поэтому мы видим их в такой окраске, т.е. зелеными. Но в тоже время зеленые пигменты растений способны улавливать энергию Солнца именно от фиолетового до голубого и от оранжевого до красного диапазонов. Известно, что под действием энергии поглощенного света и катализаторов происходит химическая реакция



здесь $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ – молекула глюкозы, образованной в результате фотосинтеза. Эта реакция, как было сказано выше, довольно-таки сложно осуществима в лабораторных условиях.

Исследование поверхностных потенциалов растений, генерированных солнечным светом

Рассмотрим величины потенциалов, продуцируемые растениями в естественных условиях. Кроме химических реакций в поверхностной структуре зеленого листа происходит образование электрически заряженных частиц - ионов. Ионы в тонких приповерхностных слоях образуют скопление потенциалов. Величины таких потенциалов очень малы – и различны для различных видов растений. Кроме того, эти величины изменяются в зависимости от времени суток, инсоляции (величины падающего на определенную поверхность солнечного света) и температуры. Зафиксируем эти потенциалы простым и доступным способом. Измерения поверхностных потенциалов, сделанные нами, довольно просты и хорошо воспроизводимы, в этом можно убедиться по представленным фотографиям.



Фото 1-2. Генерированная солнечной радиацией поверхностная разность потенциалов между различными структурными слоями растений создают ионные токи (фото 1 - утро, пасмурно), (фото 2 - полдень, Солнце в зените).

В зависимости от различных факторов (времени суток, температуры окружающей среды, вида растения, расположения зондов на различных участках растения и т.д.) величины поверхностных потенциалов показывают значения от 0.01 до 0.4 Вольт. При этом обнаружено, что комнатные и выходящие садовые растения дают большие значения поверхностных потенциалов. Разность потенциалов между различными структурными слоями растений создает ионные токи. Измерения ионных токов проводились при параллельном подключении микроамперметра и показали значения порядка нескольких микроампер. Таким образом, поверхностную структуру растения можно рассматривать как ионный проводник с протонно-ионной проводимостью, стимулированной электромагнитным излучением [15]. Результаты получены при исследовании наведенных солнцем потенциалов на различных культурных, огородных, садовых, комнатных и водных растениях. Однако, если при таких измерениях один из электродов изготовить из адсорбента или ПАВ (поверхностно активных веществ), то возможно наблюдать совершенно иные показатели. В качестве электродов нами были использованы активированный уголь, графитовые стержни, сажа газовая (Художественный пигмент. Говоря о саже, следует отметить, что в некоторых видах сажи обнаружены углеродные нанотрубки). Получились иные результаты - значения потенциалов увеличивались в два и более раз. То же происходило и с величинами токов. Небольшая поверхностная площадка листа показывала значения потенциала до 0,5 В и более. Это возможно объяснить тем, что активированный уголь имеет высокодисперсную структуру и может собирать химические соединения и ионы, которые могут добавить к электронной проводимости еще ионную проводимость. Т.е. собирать с поверхности листовой пластинки активированные ионы. С одной стороны, уголь не оказывает вредного воздействия на лист и активно собирает излишек ионов.

Перспективы получения и аккумуляции естественных токов, производимых растениями

Использование в качестве одного из электродов пористых материалов или наноструктур с большой, большей чем у активированного угля поверхностью очевидно должно показать лучшие результаты. 1 грамм активированного угля может иметь поверхность от 500 до 2200 м² [16]. По-видимому, в случае адсорбции ионов и электронов с поверхностей растений активированный уголь дает не совсем хорошие показатели в том плане, что в основном адсорбционные свойства углей определяются микропорами, составляющими до 90 % всей поверхности активного угля. На ней и протекают процессы адсорбции, в основе которых лежит



взаимодействие энергетически ненасыщенных атомов углерода с молекулами сорбируемых веществ. Поэтому лучше сорбируются вещества в молекулярной форме, хуже — в ионной [17]. Поэтому, подбирая сорбенты, с высокой поглощающей способностью по ионам, возможно улучшить показатели [18]. Для таких потенциалов возможно использовать низкочастотные повышающие трансформаторы со встроенными ферритовыми сердечниками с высокой $\sim \mu \geq 50$ (здесь μ – магнитная проницаемость материала сердечника) в микроципах, для усиления полученных потенциалов. Но это уже сложная и дорогостоящая нанотехнология. Конечно, пока такие величины потенциалов нельзя использовать как альтернативу солнечным элементам, но даже эти небольшие результаты могут стать крупницей в решении глобально поставленной задачи. И для этого запланированы дальнейшие исследования.

Перспективы развития искусственного фотосинтеза. Пигменты в качестве антенн коротковолнового излучения

Если же проводить дальнейшее обсуждение идеи искусственного копирования фотосинтеза, то здесь нужно учитывать, что фотосинтез включает две стадии - световую, в ходе которой образуются высокоэнергетические вещества и происходит фотолиз, то есть расщепление воды под действием света с выделением протонов водорода и молекул кислорода, и темновую, во время которой используются запасы энергии, накопленной на первой стадии. Запасы зарядов и энергии в растениях могут, по -видимому, сохраняться в природных суперионных конденсатах большой емкости [19].

Возможно, что и эти заряды, являющиеся природными аккумуляторами энергии, позволяют растениям использовать энергию в темное время суток для дальнейших химических реакций, в так называемой темновой стадии фотосинтеза, когда образуются питательные вещества, такие как глюкоза, крахмал, целлюлоза. Темновая стадия фотосинтеза включает в себя 15 химических реакций, воспроизвести которые в лабораторных условиях на сегодняшний день считается очень сложной, по многим причинам задачей. Уловить энергию Солнца клеткам зеленых растений позволяет комплекс сложных светочувствительных пигментов (хлорофиллов и каротиноидов), расположенный в специальном органоиде — хлоропласте. Здесь необходимо отметить, что практически все пигменты обладают адсорбирующими свойствами. В клетках зеленых растений пигменты находятся в мембране хлоропласта, в воронкообразной форме. Здесь расположен реакционный центр – энергетический преобразователь фотосинтеза. Именно такие реакционные центры способны уловить квант света и преобразовать его энергию в химическую. Остальные молекулы участвуют в качестве антенн, собирающих электромагнитное излучение длиной волны от 400 до 700 нанометров, т.е. видимую часть спектра. Таким образом, размеры таких антенн сопоставимы с длиной волны падающего света (порядка 400-700 нанометров). Для того чтобы разработчикам антенн произвести антенну подобного размера придется использовать нанотехнологии, т.е. технологии изготовления микроципов. Следующей проблемой станет изготовление выпрямителей для таких частот, а для этого нужно будет подготовить целый штат разработчиков, которых еще предстоит обучить работать с такими технологиями. Фотоэлектрохимические элементы, сочетающие в себе как поглощение, так и преобразование солнечной энергии, а также химический катализ для получения продуктов, очень дорогостоящи. Таким образом, задача воспроизведения природного фотосинтеза для промышленного получения электроэнергии остается пока нерешенной задачей [20]. Но, как было изложено выше искусственный фотосинтез дело непростое, требующее больших затрат и времени. Все искусственные фотосинтезирующие ячейки и эффекты, о которых было заявлено ранее, пока не дали ожидаемых результатов. Ни одна из этих технологий пока не заняла место кремниевых батарей. Что же остается делать, подождем. В природе процесс фотосинтеза эволюционировал миллиарды лет, поэтому, конечно же, требуется еще некоторое время для широкомасштабного промышленного использования фотосинтеза в качестве источника энергии. А пока, надежда остается лишь на тандемные фотоэлектрохимические устройства и фотовольтаические преобразователи, которые также пока не совсем экономически значимы из-за высокой стоимости производства [21-26].

Выводы: В связи с тем, что воспроизводство искусственного фотосинтеза пока является задачей не ближайшего будущего, рентабельными могут оказаться разработки способов сбора избытков зарядов, генерированных растениями при фотоэффекте. Подведем итог и рассмотрим перспективы в этом направлении. Токи, продуцируемые растениями, конечно, имеют малые полезные значения. Однако необходимо учитывать, что измеренные величины дает только одна структурная единица растения (в некоторых случаях до 0.1 мкА при разности потенциалов до 0.5 Вольт). На производство этих величин не затрачены ни материальные, ни человеческие ресурсы. Таких ячеек в окружающем нас ближайшем растительном окружении огромное количество. Для получения более весомых результатов и получения бесплатного электричества, пока небольшого, необходим подбор подходящих адсорбирующих поверхностей, контактов, аккумулярование и трансформация, последовательное соединение элементарных ячеек.



Аккумуляция уже сегодня является решенной задачей с использованием суперконденсаторов сверхбольшой емкости. Такие конденсаторы обладают миниатюрными размерами и способны накапливать в себе огромное количество заряда. В настоящее время существуют тенденции перехода от аккумуляторов, обладающих большими габаритами и затратами на преобразование энергии, на сверхионные конденсаторы [27]. С учетом развития современных технологий задача является вполне решаемой. Нами был изготовлен в лаборатории суперконденсатор (материальные и трудовые затраты на изготовление которого ничтожно малы). Собранный при помощи такого устройства избыточное электричество всего лишь с небольшой площади одного растения позволило питать диодную лампу, приводить в движение миниатюрный двигатель. Для увеличения производительности, конечно, нужны дополнительные исследования и возможно в сотрудничестве с коллегами заинтересованными в развитии данного направления. Для осуществления поставленной задачи и привлечения к её решению широкого круга исследователей подготовлена данная статья.

REFERENCES

- [1] Орт, Д. Р. и др. Перепроектирование фотосинтеза для устойчивого удовлетворения мирового спроса на продовольствие и биоэнергию. *Proc. Natl Acad. Sci. США* **112**, 8529–8536 (2015).
- [2] [КПД солнечных панелей - самые эффективные фотоэлементы, расчет и схемы \(energo.house\)](http://energo.house)
- [3] Shahan Z. (2013). *Solar module manufacturing trends in 2012. CleanTechnica*
- [4] [Sunpower E19/240 SOLAR PANEL;](http://Sunpower.com)
- [5] HELMUT TRIBUTSCH. (2008). [REACTION OF EXCITED CHLOROPHYLL MOLECULES AT ELECTRODES AND IN PHOTOSYNTHESIS*](https://doi.org/10.1016/j.pbi.2008.05.001). *Photochemistry and Photobiology*. **16**, 261-269;
- [6] Papageorgiou N. (2013). [Dye-sensitized solar cells rival conventional cell efficiency. EPFL;](https://doi.org/10.1016/j.epfl.2013.05.001)
- [7]. Barber, J. & Tran, P. D. От естественного до искусственного фотосинтеза. *J. R. Soc. Interface* **10**, 20120984 (2013).
- [8]. [Астронет> Солнце \(astronet.ru\)](http://astronet.ru)
- [9]. [ЗВЕЗДА ПО ИМЕНИ СОЛНЦЕ \(vrn.ru\)](http://vrn.ru)
- [10]. Govindjee, Shevela, D. & Björn, L. O. Эволюция Z-схемы фотосинтеза: перспектива. *Фотосинтез. Рес.* **133**, Р.5–15. (2017).
- [11]. <https://lenta.ru/news/2006/09/05/chlorophyll/?ysclid=l4lnqif5cc54240881>
- [12]. Пишотта Дж.М., Цзоу Ю., Баскаков IV (2010). ["Светозависимая электрогенная активность цианобактерий". ПЛОС ОДИН. 5 \(5\): e10821. doi:10.1371/journal.pone.0010821. PMID 20520829.](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010821) *Pisciotta J.M., Zou Y., Baskakov I.V. Light-Dependent Electrogenic Activity of Cyanobacteria (англ.)// PLoSONE: journal. — 2010. — Vol. 5, no.5. — P. e10821. — doi:10.1371/journal.pone.0010821. — PMID 20520829*
- [13]. [Бактерии для водородной энергетики;](http://bakterii.ru)
- [14]. Саут, Пол Ф.; Кавана, Аманда П.; Лю, Хелен В.; Орт, Дональд Р. (2019-01-04). [«Пути метаболизма синтетических гликолят стимулируют рост и продуктивность сельскохозяйственных культур в полевых условиях». Наука. 363 \(6422\): eaat9077. doi:10.1126/science.aat9077. ISSN 0036-8075. ЧВК 7745124. PMID 30606819.](https://doi.org/10.1126/science.aat9077)
- [15]. Гольданский В.М., Трахтенберг Л.И., Флеров В.Н. Туннельные явления в химической физике. М. (1986). 296 с.
- [16]. Активированный уголь Материал из Википедии — свободной энциклопедии
- [17]. : <https://www.c-o-k.ru/articles/o-processe-adsorbicii-na-tverdyh-adsorbentah-1>
- [18]. Оптические, электрические и электромеханические свойства гибридных графен/углеродных нанотрубок I N Холманов, CW Магнусон, R Piner, JY Kim, AE Aliev, C Tan, TY Kim. *Продвинутые материалы* **27** (19), 3053-3059, 2015
- [19]. [Электрофизиология растений \(srbu.ru\)](http://srbu.ru)
- [20]. Сокол, К. и др. Рациональная проводка фотосистемы II к иерархическим электродам оксида индия-олова с использованием окислительно-восстановительных полимеров. *Энергетическая среда. Наук* **9**, 3698–3709 (2016).
- [21]. Мерш, Д. и др. Подключение фотосистемы II к гидрогеназе для фотоэлектрохимического расщепления воды. *J. Am. Chem. Soc.* **137**, 8541–8549 (2015).
- [22]. Сокол, К.П., Робинсон, В.Е., Варнан, Дж. Фотоэлектрохимическое расщепление воды без смещения с помощью фотосистемы II на сенсibilизированном красителем фотоаноде, подключенном к гидрогеназе. *NatEnergy* **3**, 944–951 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0232-y>



- [23].Шерман, Б.Д., Макмиллан, Н.К., Уиллингер, Д. и др. Устойчивое производство водорода из воды с использованием тандемных фотоэлектрохимических элементов, сенсibilизированных красителем. *Наноконвергенция* **8**, 7 (2021). <https://doi.org/10.1186/s40580-021-00257-8>
Sherman et al. Nano Convergence. Sustainable hydrogen production from water using tandem dye-sensitized photoelectrochemical cells(2021) 8,7<https://doi.org/10.1186/s40580-021-00257-8>
- [24].<https://zanauku.mipt.ru/2021/09/07/fotosintez-osnova-energii-budushhego/?ysclid=l4lkbmno7732432556>
- [25].Kruse, O., Rupprecht, J., Mussnug, J. H., Dismukes, G.C. &Hankamer, B. Photosynthesis: a blueprint for solar energy capture and biohydrogen production technologies. *Фотохимия. Фотобиол. Наук.* **4**, 957–969 (2005).
- [26].Hu, S., Xiang, C., Haussener, S., Berger, A. D. &Lewis, N. S. Анализ оптимальных зонных зазоров поглотителей света в интегрированных тандемных фотоэлектрохимических водорасщепительных системах. *Энергетическая среда. Наук* **6**, 2984–2993 (2013)
- [27]. [Конденсатор вместо аккумулятора | Публикации | Элек.ру \(elec.ru\)](#)
-



INNO SPACE
SJIF Scientific Journal Impact Factor
Impact Factor
7.54

ISSN

INTERNATIONAL
STANDARD
SERIAL
NUMBER
INDIA



INTERNATIONAL JOURNAL OF MULTIDISCIPLINARY RESEARCH IN SCIENCE, ENGINEERING AND TECHNOLOGY

| Mobile No: +91-6381907438 | Whatsapp: +91-6381907438 | ijmrset@gmail.com |

www.ijmrset.com