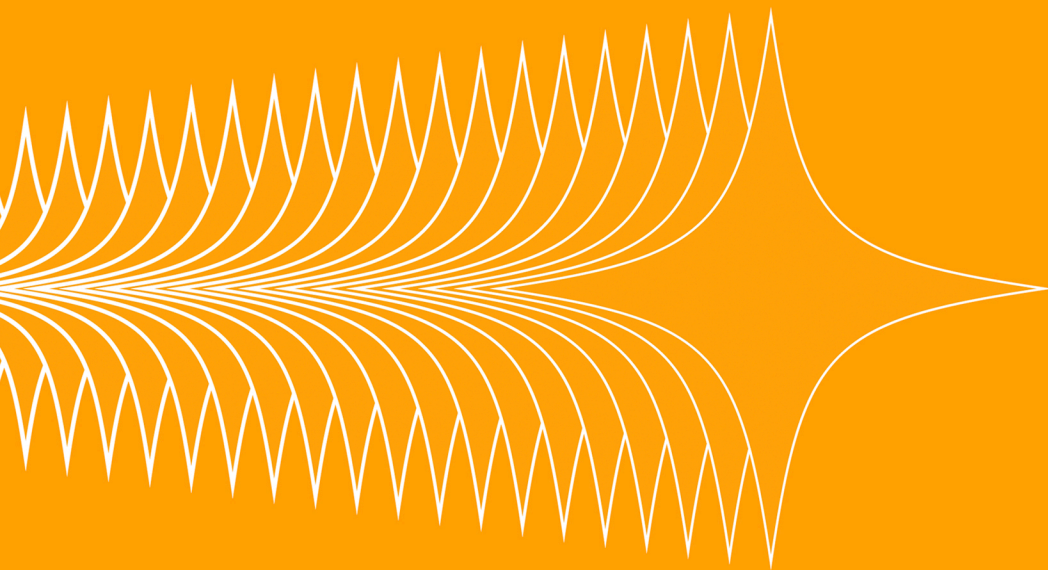


ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В МИРЕ РАСТЕНИЙ



Альтернативная энергетика

2021 | ФЦДО

Методическая разработка

«Электромагнитные явления в мире растений»

Направление: «Альтернативная энергетика»

Автор: Мануковский Сергей Сергеевич

Организация: детский технопарк «Кванториум» (Воронеж)



**Многообразие проявления
электрического тока**

Электрический ток в цепи всегда проявляется каким-нибудь своим действием. Это может быть как работа в определенной нагрузке, так и сопутствующее действие тока. Таким образом, по действию тока можно судить о его наличии или отсутствии в данной цепи: если нагрузка работает — ток есть. Если типичное сопутствующее току явление наблюдается — ток в цепи есть, и т.д.





Вообще, электрический ток способен вызывать различные действия:

- Тепловое
- Химическое
- Магнитное (электромагнитное),
- Световое или механическое

Причем разного рода действия тока зачастую проявляются одновременно

Тепловое действие тока

При прохождении постоянного или переменного электрического тока по проводнику, проводник нагревается





Химическое действие электрического тока

Электролиты, содержащие ионы, под действием постоянного электрического тока подвергаются электролизу — это и есть химическое действие тока.

К положительному электроду (аноду) в процессе электролиза притягиваются отрицательные ионы (анионы), а к отрицательному электроду (катоду) — положительные ионы (катионы). То есть вещества, содержащиеся в электролите, в процессе электролиза выделяются на электродах источника тока.

Магнитное действие электрического тока

При наличии электрического тока в любом проводнике (в твердом, жидком или газообразном) наблюдается магнитное поле вокруг проводника, то есть проводник с током приобретает магнитные свойства





Световое действие

В простейшем виде световое действие электрического тока можно наблюдать в лампе накаливания, спираль которой разогревается проходящим через нее током до белого каления и излучает свет.

Для лампы накаливания на световую энергию приходится около 5% от подведенной электроэнергии, остальные 95% которой преобразуется в тепло.

Люминесцентные лампы более эффективно преобразуют энергию тока в свет — до 20% электроэнергии преобразуется в видимый свет благодаря люминофору, принимающему ультрафиолетовое излучение от электрического разряда в парах ртути или в инертном газе типа неона.

Механическое действие электрического тока

Магнитные действия превращаются в движение, например, в электродвигателях, в магнитных подъемных устройствах, в магнитных вентилях, в реле и т. д.

Как было отмечено выше, каждый проводник, по которому течет электрический ток, образует вокруг себя магнитное поле.



Электромагнитные явления в мире растений

Аннотация

Данное учебное пособие предназначено для обобщения понятия электричества и магнетизм, а также его присутствия в мире флоры и фауны. Учебный материал расскажет о существующих в природе источниках электрического тока и процессах гармонического взаимодействия природы и магнитного поля земли.

Электромагнетизм в живой природе

Введение в природу электричества

Электричество в мире растений

Магнетизм в мире растений

Введение в природу электричества

История электричества

Многообразие проявления
электрического тока

История исследования электрических свойств растений

Биоэлектрические потенциалы

Растительное электричество

*«Как ни удивительны электрические явления,
присущие неорганической материи, они не идут
ни в какое сравнение с теми, которые связаны с
жизненными процессами»*

Майкл Фарадей

Биоэлектрические
потенциалы растений

Роль биоэлектрических потенциалов в жизнедеятельности
растительных биообъектов

Измерение биоэлектрических потенциалов

Электричество внутри клетки. Как это?

Известные факты о биоэлектрических потенциалах

Методика проведения исследования

История

С помощью высокочувствительной аппаратуры удалось установить, что слабое биоэлектрическое поле окружает любое живое и еще точно известно: каждая живая клетка имеет свою собственную электростанцию. И клеточные потенциалы не так уж малы. Например, у некоторых водорослей они достигают 0,15 В [1].

«Если 500 пар половинок горошин собрать в определенном порядке в серии, то конечное электрическое напряжение составит 500 вольт... Хорошо, что повар не знает об опасности, которая ему угрожает, когда он готовит это особенное блюдо, и к счастью для него, горошины не соединяются в упорядоченные серии». Это высказывание индийского исследователя Дж. Босса базируется на строгом научном эксперименте. Он соединял внутренние и внешние части горошины с гальванометром и нагревал до 60°C. Прибор при этом показывал разность потенциалов 0,5 В [1].



Каким образом это происходит? На каком принципе работают живые генераторы и батареи? Заместитель заведующего кафедрой живых систем Московского физико-технического института кандидат физико-математических наук Эдуард Трухан считает, что один из самых главных процессов, протекающих в клетке растения, - процесс усвоения солнечной энергии, процесс фотосинтеза[2].

История

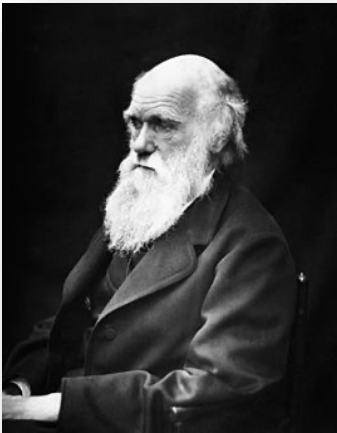
Так что, если в тот момент ученым удастся «растакить» положительно и отрицательно заряженные частицы в разные стороны, то, по идее, мы получим в свое распоряжение замечательный живой генератор, топливом для которого служили бы вода и солнечный свет, а кроме энергии, он бы еще производил и чистый кислород[2].

Возможно, в будущем такой генератор и будет создан. Но для осуществления этой мечты ученым придется немало потрудиться: нужно отобрать наиболее подходящие растения, а может быть, даже научиться изготавливать хлорофилловые зерна искусственно, создать какие-то мембраны, которые бы позволили разделять заряды. Оказывается, живая клетка, запасая электрическую энергию в природных конденсаторах – внутриклеточных мембранах особых клеточных образований, митохондрий, потом использует ее для производства очень многих работ: строительства новых молекул, затягивания внутрь клетки питательных веществ, регулирования собственной температуры... И это еще не все. С помощью электричества производит многие операции и само растение: дышит, движется, растет.

Уже сегодня можно утверждать: изучение электрической жизни растений несет пользу сельскому хозяйству. Еще И. В. Мичурин проводил опыты по влиянию электрического тока на прорастание гибридных семян. Предпосевная обработка семян – важнейший элемент агротехники, позволяющий повышать их всхожесть, а в конечном итоге – урожайность растений. А это особенно важно в условиях нашего не очень длинного и теплого лета. Один из характерных признаков живых организмов – способность к раздражению[4].

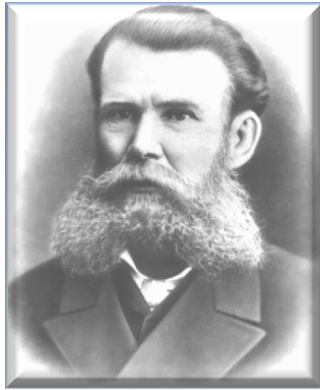


Мичурин, Иван Владимирович



Дарвин, Чарлз

Чарльз Дарвин придавал важное значение раздражимости растений. Он детально изучил биологические особенности насекомоядных представителей растительного мира, отличающихся высокой чувствительностью, и результаты исследований изложил в замечательной книге «О насекомоядных растениях», вышедшей в свет в 1875 году[4]. Кроме того, внимание великого натуралиста привлекли различные движения растений. В совокупности все исследования наводили на мысль, что растительный организм удивительно схож с животным.



Немецкий физиолог Герман Мунк, продолживший опыты, в 1876 году пришел к заключению, что листья венериной мухоловки в электромоторном отношении подобны нервам, мускулам и электрическим органам некоторых животных[2].

Леваковский, Николай Фёдорович



В России электрофизиологические методы были использованы Н. К. Леваковским для изучения явлений раздражимости у стыдливой мимозы. В 1867 году он опубликовал книгу под названием «О движении раздражимых органов растений». В экспериментах Н. К. Леваковского самые сильные электрические сигналы наблюдались в тех экземплярах **МИМОЗЫ**, которые наиболее энергично отвечали на внешние раздражители. Если мимозу быстро убить нагреванием, то мертвые части растения не вырабатывают электрических сигналов. Возникновение электрических импульсов автор наблюдал также в тычинках **бодяка и чертополоха, в черешках листьев росянки**. Впоследствии было установлено, что в любом растении можно обнаружить возникновение электрических потенциалов[3].

Мунк, Герман

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В РАСТЕНИЯХ

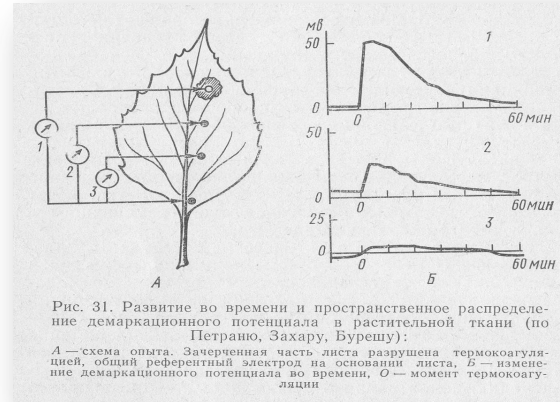
Изучению «растительного электричества» в XIX в. было уделено немало внимания. Первые попытки обнаружения токов действия у растений предпринимались именно на тканях, способных к сокращению. Токи действия в растительных тканях были обнаружены в опытах с черешками мимозы, способными совершать механические движения под влиянием внешних раздражителей. Были открыты электрические ритмы растений. Если, например, поместить кончик корня молодого бобового растения в воду и между различными точками корня и наружной средой измерять разность потенциалов, окажется, что эта величина колеблется с периодом 5 – 20 минут, причем амплитуда колебаний уменьшится по мере удаления от кончика корня. а частота сильно зависит от температуры окружающей среды. Ритмические колебания потенциала зарегистрированы у очень многих высших растений и у некоторых грибов. Но раз в растении вырабатываются какие-то токи, значит и внешний, приложенный ток должен неким образом влиять на жизнедеятельность растений[1].

БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОТЕНЦИАЛЫ РАСТЕНИЙ

Биоэлектрические потенциалы (биопотенциалы), электрические потенциалы в тканях и клетках живых организмов. Обусловлены способностью клеток и тканей быть источниками электрического тока и выступать в качестве так называемых электрических проводников второго рода с неоднородной структурой (в отличие от металлов, являющихся электрическими проводниками первого рода с однородной структурой).

К числу наиболее удивительных свойств живых клеток, несомненно, следует отнести их способность генерировать биоэлектрические потенциалы. Обнаруженное в середине прошлого столетия биоэлектричество привлекло к себе внимание исследователей самых разных направлений физиков, физико- химиков, биологов. Изучение биоэлектрических явлений приобрело многоплановый характер. Одним из существенных направлений, получивших развитие, явилось изучение биоэлектrogenеза – непосредственных причин, лежащих в основе генерации биоэлектрических потенциалов. Очевидно, что без знания механизмов возникновения электрических потенциалов в клетке невозможно в полной мере оценить их роль в различных функциях клеток, тканей и организма в целом[2].

В 1950-х годах при помощи микроэлектродов, вводимых в клетку, у нитчатой водоросли нителлы были обнаружены такие же значения потенциалов покоя, как и у животных клеток — порядка 0,09-0,05 В. Было установлено, что электрические, механические, химические и другие раздражители умеренной интенсивности вызывают в местах своего приложения к органам растения (листу, корню и т. д.) изменения потенциалов, сходные с местными (подпороговыми) потенциалами у животных клеток.



Нителла – род харовых водорослей
из отдела зеленых водорослей

БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОТЕНЦИАЛЫ РАСТЕНИЙ

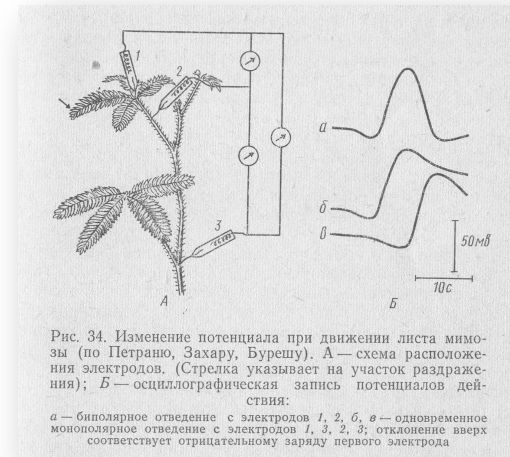
Таким образом, биопотенциалы лежат в основе нормальной жизнедеятельности любой клетки и особенно важны для процессов возбуждения и торможения у животных и человека и раздражимости у растений. Нарушения проводимости клеточных мембран могут приводить к серьезным патологиям организма (вплоть до смерти). Исследования биоэлектрических потенциалов применяют с диагностическими целями в электрокардиографии, электроэнцефалографии, электромиографии.

Обнаружены у растений и специальные потенциалы возбуждения, подобные потенциалам действия животных клеток. Наиболее приближаются к классическим потенциалам действия электрические потенциалы, возникающие при распространении волны возбуждения по органам растения. Так, типичные двухфазные токи действия длительностью 0,1-0,2 мс сопровождают быстрые движения насекомоядного растения дианова мухоловка, а также защитную двигательную реакцию складывания листьев у стыдливой мимозы (*Mimosa pudica*) в ответ на механическое или электрическое раздражение растения[3].

ИЗМЕРЕНИЕ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ РАСТЕНИЙ

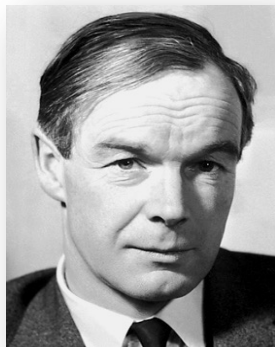
Имеется значительное количество типов экспериментальных установок для регистрации БЭП. Однако все они включают три основные части – электроды, усилитель и регистрирующее устройство. Электроды контактируют с объектом. Усилитель служит для усиления регистрируемого потенциала.

Как правило, входное сопротивление усилителя бывает очень высоким (несколько мегаом), что позволяет в процессе измерения потреблять от объекта очень малый ток, и, таким образом, минимально нарушать существующую в ткани разность потенциалов. Регистрирующее устройство позволяет регистрировать биоэлектрическую активность и может быть разным в зависимости от ее типа – гальванометр, самописец, осциллограф[2].

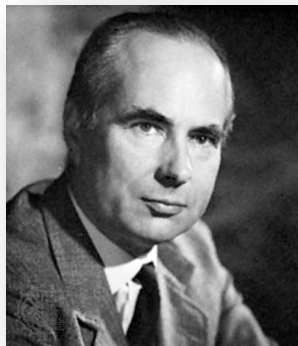


ИЗМЕРЕНИЕ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ РАСТЕНИЙ

Для изучения БЭП решающее значение имела разработка Ходжкиным и Хаксли (1939), а также Колом и Кертисом (1939) микроэлектродной техники. Последняя отличается от обычной тем, что электроды имеют диаметр кончика, контактирующего с биологическим объектом, всего 0,5 – 1 мкм. Это позволяет с помощью особых микроманипуляторов вводить такие электроды внутрь клетки и изучать электрическую активность на клеточном уровне.



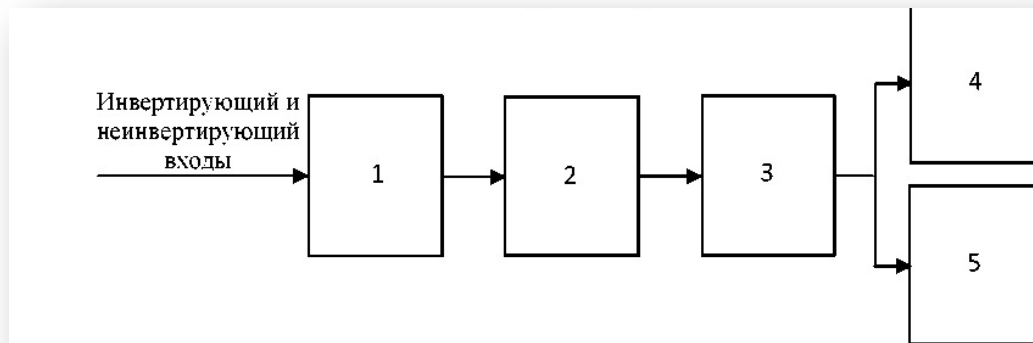
Алан Ходжкин



Эндрю Хаксли

ИЗМЕРЕНИЕ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ РАСТЕНИЙ

С целью исследования биоэлектрических характеристик растений в контролируемых условиях и с целью технической реализации средств измерения БЭП была разработана структурная схема аппаратуры для электрофизиологических исследований РБО

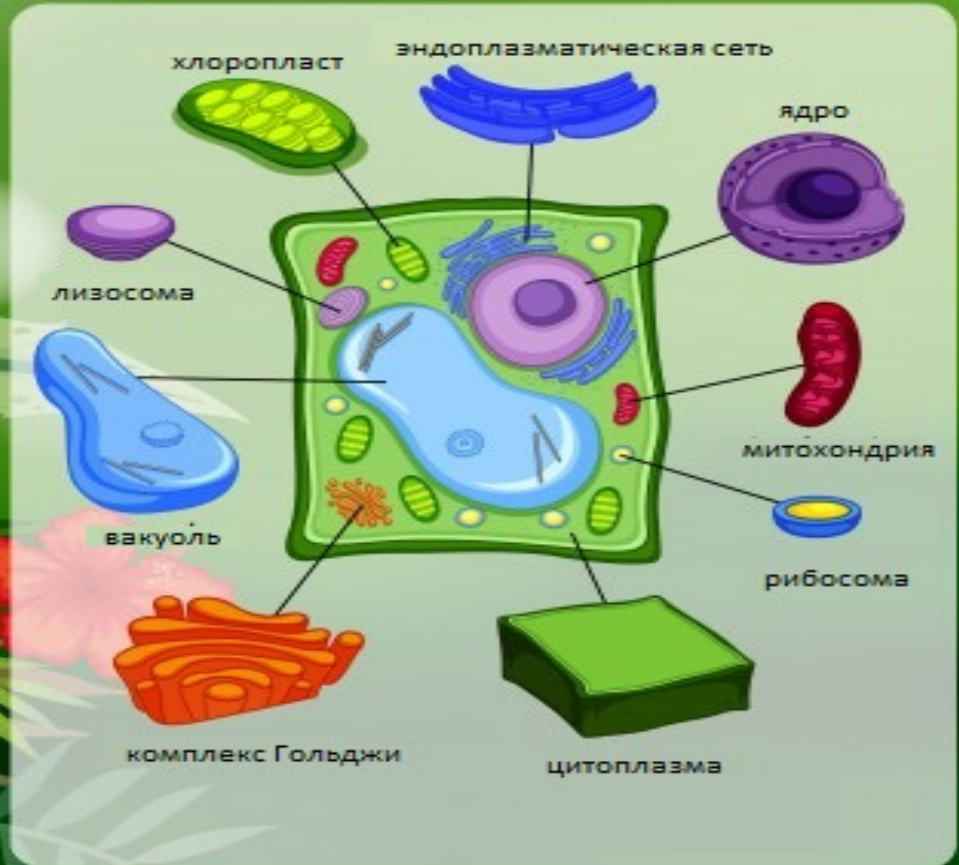


- 1 - инструментальный усилитель;
- 2 - смеситель;
- 3 - микроконтроллер;
- 4 - индикатор;
- 5 - запоминающее устройство.

Рис. 1. Структурная схема устройства измерения БЭП.

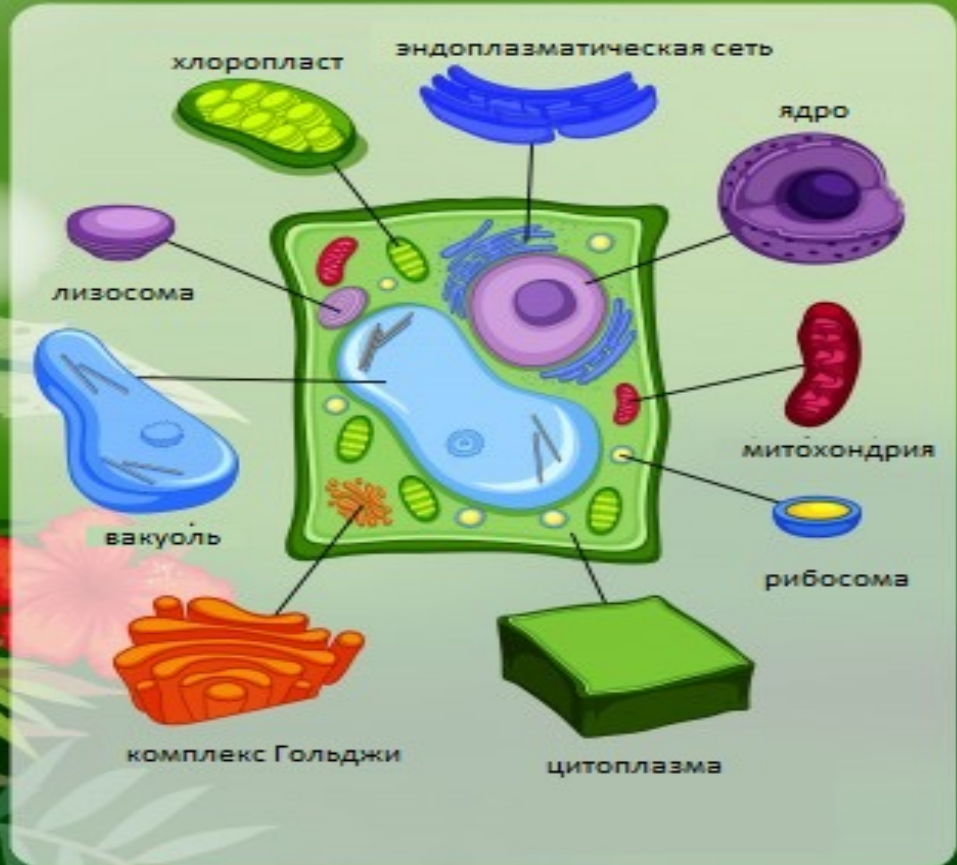
Электричество в растительной клетке. Как это?

В связи с тем, что растительные клетки окружены плотной целлюлозно-пектиновой оболочкой, передача возбуждений с клетки на клетку осуществляется через плазмодесмы, которые обеспечивают и перемещение органических и минеральных веществ.



Электричество в клетке. Как это?

Электрические свойства живой клетки — растительной или животной — обусловлены тонко сбалансированным распределением неорганических солей внутри и вне клетки. Содержимое живых тканей жидкое; в сущности, они состоят из водных растворов солей, разделенных мембранами на отдельные отсеки: молекулы солей диссоциируют в растворе на ионы, проникающие через мембраны с различной скоростью. Благодаря этому по обе стороны мембраны создается разность концентраций ионов, за счет которой возникает электрическое поле. Создание разности концентраций осуществляется особыми «насосами», работа которых регулируется обменом веществ клетки; эти насосы «перекачивают» ионы через мембрану то в одном, то в другом направлении. Объяснение возникновения разности потенциалов в данной клетке требует подробного рассмотрения поведения ионов по обе стороны мембраны и способности каждого иона проходить через нее. Необходимо также установить, под действием какой силы — диффузии, электричества или действия ионного насоса — осуществляется передвижение ионов[10].



Роль биоэлектрических потенциалов в жизнедеятельности растительных биообъектов

За то время, в течение которого наука занимается изучением БЭП, накоплен огромный материал, показывающий их тесную связь почти со всеми жизненными функциями. Это легло в основу широкого применения регистрации БЭП для диагностики физиологического состояния объекта. Особенно успешно это направление развивается в медицине (электроэнцефалография, электрокардиография, электроретинография и др.). Используется регистрация БЭП и в сельском хозяйстве для прогноза практически значимых качеств животных и растений. Взгляд на БЭП как на неизбежный "продукт" физиолого-биохимических и биофизических процессов настолько укрепился в науке, что долгое время почти не рассматривался вопрос о том, какую самостоятельную роль они играют в организме. Исключением, пожалуй, является установление роли БЭП в генерации и распространении возбуждения в нерве. Вместе с тем анализ показывает, что участие БЭП в протекании жизненных процессов весьма универсально и разнообразно. Можно наметить следующие пути такого участия[3].

Роль биоэлектрических потенциалов в жизнедеятельности растительных биообъектов

В условиях непрерывного обмена с окружающей средой веществом, энергией и информацией в растительных организмах создаются токи заряженных частиц, которые образуют внутри и за его пределами тонко организованные в пространственном и временном отношении постоянные и переменные электрические поля. Эти электрические поля растительных организмов получили название биоэлектрических. Биоэлектрическая полярность растений выражается в различиях метаболических потенциалов между отдельными органами, тканями, клетками в устойчивом стационарном состоянии. Величина биоэлектрических потенциалов (БЭП) отражает реальные процессы обмена веществ и неразрывно связана с физиологическим состоянием живого организма, а устойчивое неравновесное состояние в растительных организмах поддерживается за счет непрерывно протекающих в них процессов обмена веществ. Таким образом, при исследовании различных способов стимулирования развития растительных биообъектов (РБО) измерение величины БЭП может использоваться для оценки функционального состояния растений на разных стадиях органогенеза[3].

Роль биоэлектрических потенциалов в жизнедеятельности растительных биообъектов

Метаболические потенциалы возникают между участками живых тканей с разным уровнем обмена веществ. Они представляют собой разность между потенциалами покоя отдельных структур растения. При этом участок более интенсивного обмена становится электроотрицательным по отношению к окружающим тканям. В большинстве случаев метаболические потенциалы являются постоянными по полярности и медленно меняющимися по величине от единиц до десятков милливольт для травянистых растений;

Потенциалы течения в растительных организмах генерируются на основе электрокинетических явлений в проводящих пучках растения. На границе раздела двух фаз - внутренних целлюлозных оболочек сосудов и водной среды образуется двойной электрический слой путем адсорбирования анионов на стенки сосудов из дисперсионной фазы, в которой остаются катионы. Потенциал течения возникает при нарушении симметрии двойного электрического слоя течением жидкости через капиллярные сосуды растения[3].

- По причине возникновения БЭП в основном делятся на 4 группы:
- **Потенциал покоя** выражает электрофизиологическое свойство живого образования, находящегося в состоянии покоя. Он представляет разность потенциалов между живой структурой и окружающей нейтральной средой. Живые структуры заряжены, как правило, отрицательно относительно среды. Потенциал покоя является основной характеристикой организма, на его физико-химической основе формируются все остальные биоэлектрические явления;
- **Демаркационные потенциалы** возникают в любом организме между его поврежденным участком и остальной интактной поверхностью;

Импульсная биоэлектрическая активность характеризует изменения в функциональной жизнедеятельности РБО и передаёт эти флуктуации как ответ на изменения в среде обитания и на воздействия возмущающих внешних факторов. Известны три типа импульсной электрической активности:

Потенциалы действия (ПД) - импульсные электрические ответы на надпороговое раздражение, которые разделяют на распространяющиеся и местные. Длительность импульса всех видов ПД составляет от нескольких до десятков секунд;

Вариабельный потенциал (ВБ) - реакция высших растений на повреждающие или высокоэнергетические воздействия. Длительность сигнала составляет от нескольких до десятков минут, амплитуда варьируется от 20 до 120 мВ. По форме ВБ отличается от ПД более длительной нисходящей ветвью импульса;

Микроритмика - особый вид ритмической импульсной электрической активности у растений. Диапазон амплитуд микроимпульсов - десятки и сотни микровольт, длительность импульсов - от десятков до сотен миллисекунд. Микроритмы БЭП приводят к быстрому увеличению концентрации ионов, запускающих стрессовую реакцию растений.

Роль биоэлектрических потенциалов в жизнедеятельности растительных биообъектов

Электрические изменения в растительных клетках поддерживают фотосинтез, эффективность которого уменьшается при повышении температуры.

Известно, что подобные электрические реакции возникают у растений в ответ на самые разные раздражители, от механических до температурных, однако в предыдущих подобных экспериментах речь шла о довольно высоких температурах – около 50 °C и выше. На самом же деле, как говорится в статье в *Frontiers in Physiology*, клетки листьев электрически реагируют уже даже при 30 °C; а при дальнейшем повышении температуры до 40 °C и 45 °C появляются добавочные электрические реакции. Причем «электроизменения» в клетках листьев явно помогают приспособиться растениям к высокой температуре. Известно, что фотосинтез не любит жару – его эффективность тем меньше, чем жарче вокруг (это легко определить по количеству углекислого газа, поглощаемого растениями). Ранее было замечено, что электрические изменения в растительных клетках как-то связаны с устойчивостью фотосинтетических реакций к нагреву. Теперь же удалось ясно показать, что это происходит действительно благодаря электрическим реакциям.

Исследователи сравнивали разные параметры электрических изменений, такие, как частота и амплитуда, и оказалось, что чем выше амплитуда и чем чаще возникают электрические скачки, и чем раньше они начинаются, тем лучше обстоят дела с фотосинтезом при повышении температуре.

Важно, что «электрическая защита» срабатывает, как было сказано выше, даже при умеренной жаре (т. е. даже около 30 °C), и хотя эксперименты ставили на горохе, можно предположить, что электрические реакции в ответ на повышение температуры есть и у других растений. И здесь можно подумать о том, как стимулировать такой механизм защиты у сельскохозяйственных культур, чтобы их продуктивность не уменьшилась в случае климатических неприятностей.

Выводы по БЭП

Отдельные виды электрической полярности РБО несут информацию о физиологическом состоянии организма при действии неблагоприятных абиотических факторов среды, поддерживая морфологическую целостность организма, постоянную адаптацию растения к условиям среды и выполняя координирующую роль, при этом они являются наиболее чувствительными и откликающимися на управление критериями функционального состояния растений.

Некоторые факты о биоэлектрических потенциалах

- Несомая ветром цветочная пыльца имеет отрицательный заряд, приближающийся по величине к заряду пылинок при пылевых бурях. Вблизи теряющих пыльцу растений резко изменяется соотношение между положительными и отрицательными легкими ионами, что благоприятно сказывается на дальнейшем развитии растений.
- В практике распыления ядохимикатов в сельском хозяйстве выяснено, что на свеклу и яблоню в большей мере осаждаются химикаты с положительным зарядом, на сирень - с отрицательным.
- Одностороннее освещение листа возбуждает электрическую разность потенциалов между освещенными и неосвещенными его участками и черешком, стеблем и корнем. Эта разность потенциалов выражает реакцию растения на изменения в его организме, связанные с началом или прекращением процесса фотосинтеза.
- Прорастание семян в сильном электрическом поле (например, вблизи коронирующего электрода) приводит к изменениям высоты и толщины стебля и густоты кроны развивающихся растений. происходит это в основном благодаря перераспределению в организме растения под влиянием внешнего электрического поля объемного заряда[20].

Некоторые факты о биоэлектрических потенциалах

- *Поврежденное место в тканях растений всегда заряжается отрицательно относительно неповрежденных участков, а отмирающие участки растений приобретают отрицательный заряд по отношению к участкам, растущим в нормальных условиях.*
- *Заряженные семена культурных растений имеют сравнительно высокую электропроводность и поэтому быстро теряют заряд. Семена сорняков ближе по своим свойствам к диэлектрикам и могут сохранять заряд длительное время. Это используется для отделения на конвейере семян культурных растений от сорняков.*
- *Значительные разности потенциалов в организме растений возбуждаться не могут, поскольку растения не имеют специализированного электрического органа. Поэтому среди растений не существует «древа смерти», которое могло бы убивать живые существа своей электрической мощностью[20].*

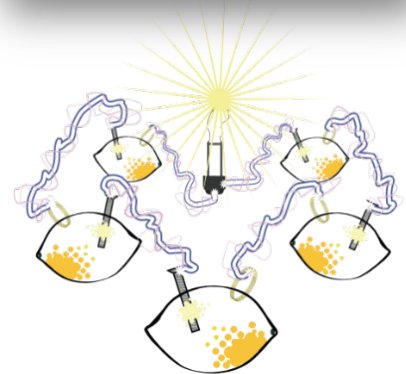
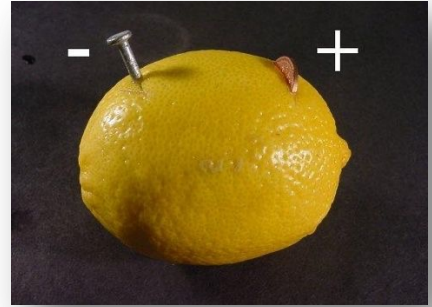
Исследование токов повреждения у различных растений

- *Инструменты и материалы*
- 3 лимона, яблоко, помидор, лист растения
- 3 блестящих медных монеты
- 3 оцинкованных винта
- Провода, желательно с зажимами на концах
- Небольшой нож
- Несколько клеящихся листочков
- Низковольтный светодиод 300мВ
- Гвоздь или шило
- Мультиметр

Исследование токов повреждения у различных растений. Лимон.

Ход работы

1. Помять лимоны для образования сока внутри;
2. В лимон вкрутить оцинкованный винт на 2/3 части. Вырезать вдоль лимона тонкую полосу и вставить медную монету на половину в лимон.
3. Вставить таким же образом винты и монеты в другие два лимона.
4. Затем подключили провода и зажимы, соединили лимоны таким образом, чтобы винт первого лимона подключался к монете второго и т.д. Подключили провода к монете из первого лимона и винту из последнего. Лимон работает как батарейка: монета - положительный (+) полюс, а винт - отрицательный (-). К сожалению, это очень слабый источник энергии. Но его можно усилить, соединив несколько лимонов.
5. Подключили положительный полюс диода к положительному полюсу батареи, подключили отрицательный полюс. Диод горит!

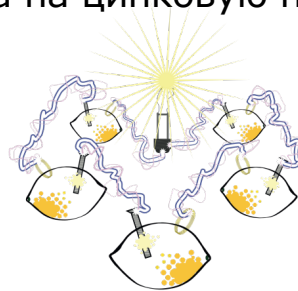


Исследование токов повреждения у различных растений. Лимон.

Дополнительные задания.

- 1) Объяснить причину возникновения электрического тока в цепи.
- 2) Измерить напряжение «Лимонной батарейки».
- 3) Измерить силу тока на светодиоде.
- 4) Просчитать количество лимонов для подзарядки мобильного телефона.
- 5) Какое максимальное напряжение можно получить из одного лимона и 5 наборов винтов и монет?
- 6) Изменится ли напряжение при замене винта на цинковую пластинку?

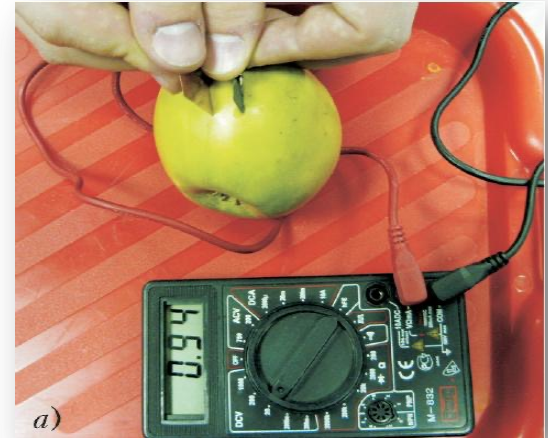
№ п/п	Количество лимонов	Разность потенциалов
1	1(без меди и цинка)	
2		
3		



Исследование токов повреждения у различных растений. Яблоко.

Ход работы

- 1) Яблоко разрезать пополам, удалить сердцевину.
- 2) Если оба электрода, отведенных к мультиметру, приложить к наружной стороне яблока (кожуре), мультиметр не зафиксирует разности потенциалов.
- 3) Один электрод перенести во внутреннюю часть мякоти, и мультиметр отметит появление тока повреждения.
- 4) Провести эксперимент с овощами - томатами.
- 5) Результаты измерений занесли в таблицу.

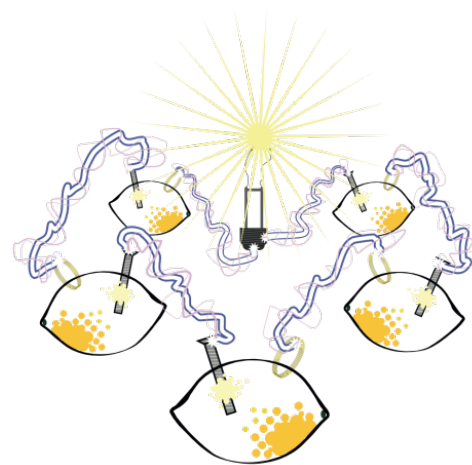


Исследование токов повреждения у различных растений. Яблоко.

Дополнительные задания.

- 1) Заменить сладкое яблоко на кислое.
- 2) Сравнить потенциалы домашних яблок и магазинных.
- 3) Заменить свежий на соленый помидор.
- 4) Сколько требуется помидоров, чтобы выработать столько же электричества, сколько вырабатывают лимоны?

№ п/п	Условия проведения	Разность потенциалов
1	Оба электрода на кожуре яблока	
2	Один электрод на кожуре, другой – в мякоти яблока	
3	Электроды в мякоти разрезанного яблока	
4	Электроды в мякоти помидора	

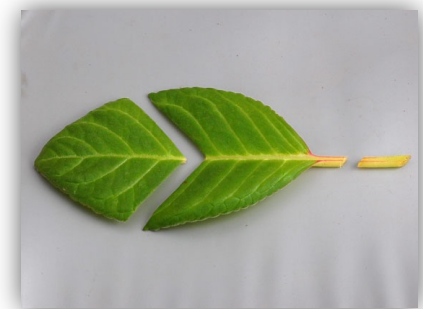
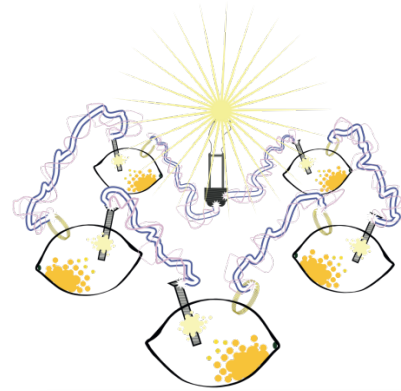


Исследование токов повреждения у различных растений. Лист.

Ход работы

1. Отрезали лист растения со стеблем.
2. Измерили токи повреждения у срезанного стебля на различном расстоянии между электродами.
3. Результаты измерений поместили в таблицу.
4. Сделайте вывод.

№ п/п	Расстояние между электродами	Разность потенциалов
1	9 см	
2	12 см	
3	15 см	



Электричество из растений

- Основная суть — фотосинтез
- Технология Plant-e электричество из растений
- Биофотовольтаика

Искусственный фотосинтез

Речь идет об *искусственном фотосинтезе (ИФ)* — способе превращать энергию солнца в удобную форму органического горючего, благодаря которому на свет уже появились рукотворные установки для синтеза органики из электричества, света, а также удивительные полупроводниковые бронебактерии-фотосинтетики.

Несовершенство зелени

При естественном фотосинтезе энергия света поглощается специальными фоточувствительными молекулами — растительными (или бактериальными) пигментами, которые при этом дестабилизируются и могут легко отдать один из своих электронов . Оторвавшийся от пигмента электрон наделен большой энергией, и он использует её, чтобы с поглощением протона восстанавливать вещества только на одной стороне мембраны, что приводит к перепаду концентраций H^+ на разных сторонах мембраны[19] (рис. 1, 2).

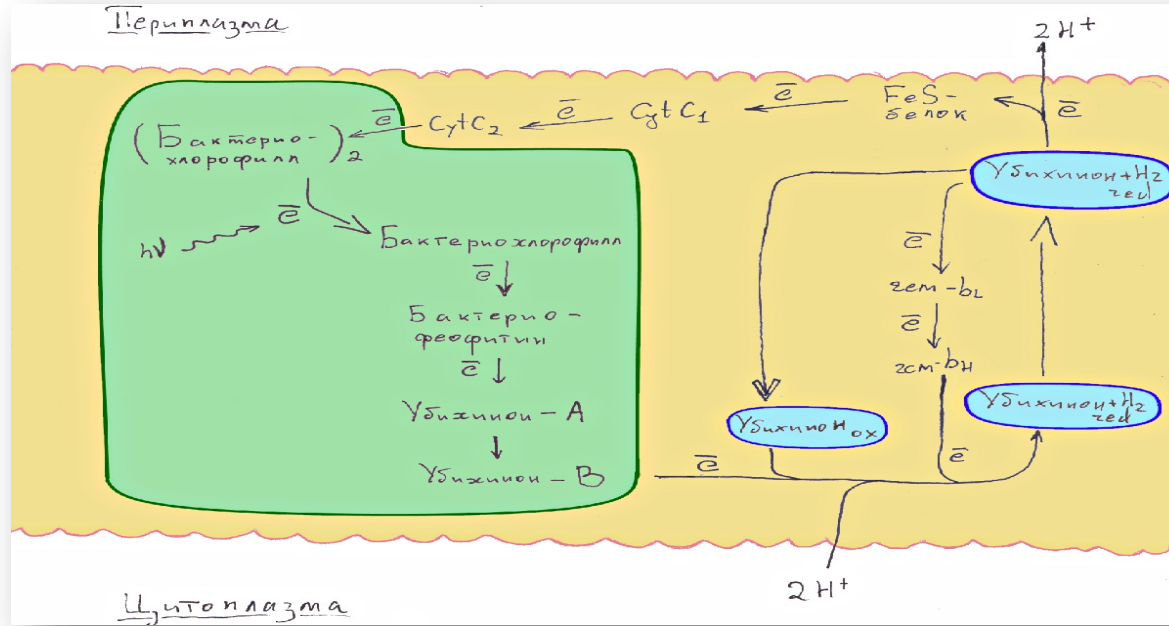


Рисунок 1. Циклический фотосинтез у пурпурных бактерий. Энергия фотона выбивает электрон из бактериохлорофилла в составе фотосистемы. Электрон через цепь переносчиков поступает на внутреннюю сторону мембраны, где помогает убихинону присоединить два протона из цитоплазмы. Убихинон, диффундировавший на внешнюю сторону мембраны, высвобождает протоны в периплазму и отдает ранее полученный электрон другой цепочке переносчиков, возвращающих его на исходное место. В результате на один фотон приходится два перенесенных через мембрану протона. Образующийся в ходе работы фотосистемы протонный градиент — универсальная форма запасаения энергии[14].

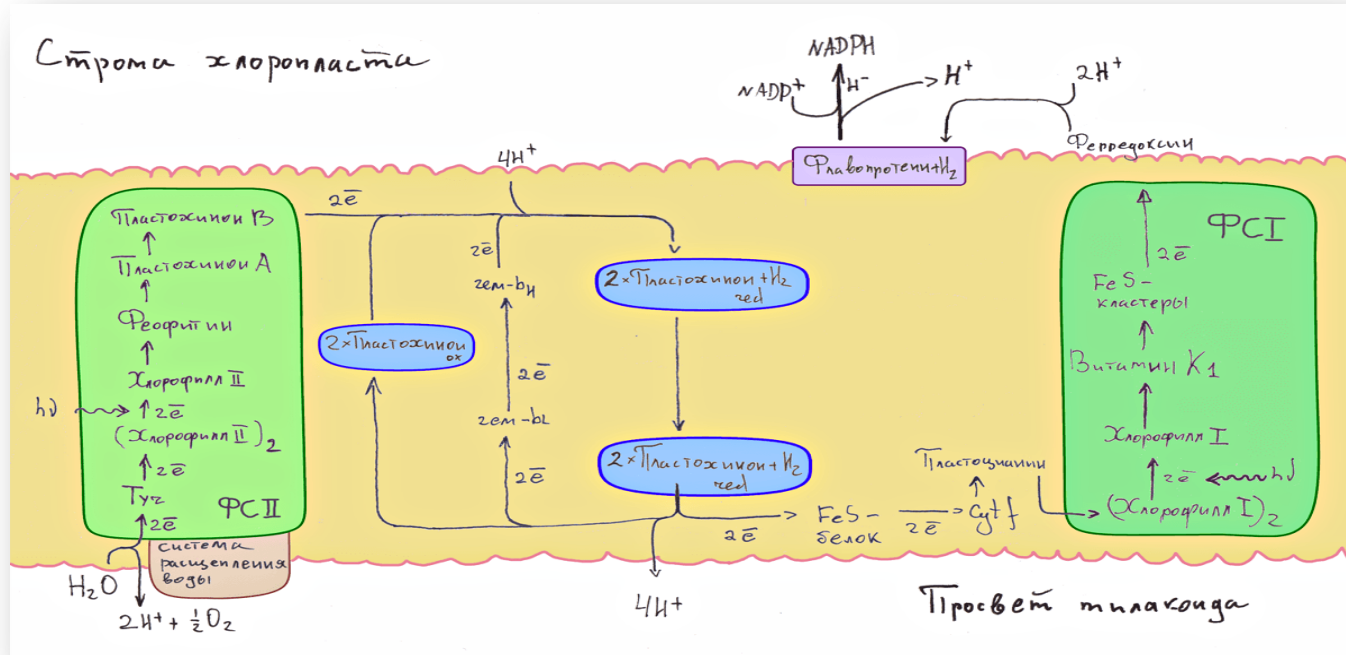
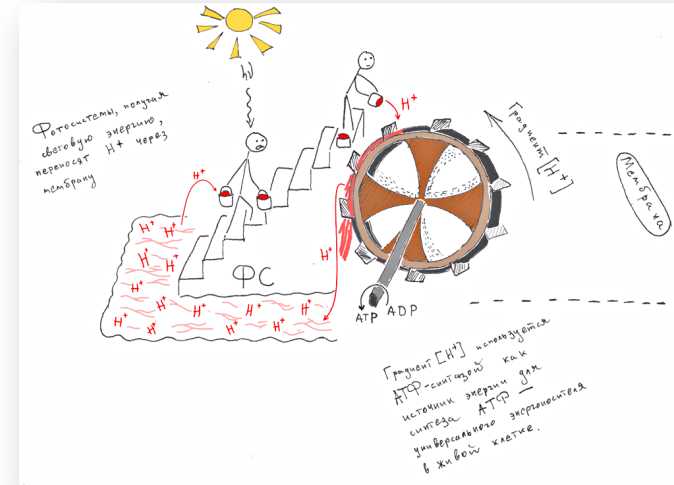


Рисунок 2. Нециклический фотосинтез у растений. Электрон покидает возбужденный светом хлорофилл фотосистемы II (ФС-II), а получившуюся «дырку» заполняют электроны, высвободившиеся при расщеплении воды. Конечный приёмник электронов — не пигмент фотосистемы, как у пурпурных бактерий, а НАДФ⁺. Еще одно отличие — у растений две фотосистемы (ФС-I и ФС-II) образуют сопряженный механизм, и для одного такта его работы требуется поглощение двух фотонов [4]. На рисунке не показан b_6f -комплекс [14].

Полученный градиент H^+ предоставляет энергию для синтеза АТФ с помощью фермента АТФ-синтазы, подобно тому, как падающая вода становится источником энергии для водяной мельницы (рис. 3). АТФ — универсальный переносчик химической энергии в клетке и участвует в абсолютном большинстве энергозатратных реакций, в том числе — в реакциях цикла Кальвина, обеспечивающих превращение CO_2 в восстановленную органику [5]. В этом цикле большая часть энергии расходуется на борьбу с побочными реакциями. Есть и другие пути ассимиляции углерода — например, путь Вуда-Льюнга, о котором будет написано дальше[16].

Рисунок 3. Запасание энергии света. При фотосинтезе белки-фотосистемы переносят протоны через мембрану за счет энергии фотонов. Фермент АТФ-синтаза сбрасывает образующийся градиент концентраций H^+ и производит универсальный переносчик энергии в клетке — АТФ. Аналогия с вращающейся водяной мельницей, на самом деле, очень близка к реальности [14].



Хотя фотосинтез в конечном счете обеспечивает всю биосферу энергией, КПД этого процесса оставляет желать лучшего (табл. 1). Рекордсмен фотосинтеза — выращиваемое для производства биотоплива сорго, у которого эффективность перевода солнечной энергии в химическую составляет 6,6%. Для сравнения: у картофеля, пшеницы и риса — около 4%

Причина потери энергии	Потеря энергии	Остаток
Поглощение фотонов только видимой части спектра	47%	53%
Лишь часть светового потока проходит через фотосинтезирующие части листа	70%	37%
Хотя в видимом свете есть высоко- и низкоэнергетические фотоны, все они поглощаются фотосистемами как низкоэнергетические (своеобразный принцип каравана)	24%	28%
Потери при синтезе глюкозы	68%	9%
Очистка листа от побочных продуктов фотосинтеза (см. <u>фотодыхание</u>)	32%	6%

Таблица 1. Энергетические параметры фотосинтеза. Фотосинтез — многостадийный процесс, и на каждой его стадии теряется часть энергии солнечного света. Низкий КПД фотосинтеза — главный его недостаток в сравнении с современными солнечными батареями. За 100% принята энергия падающего на лист солнечного света [14].

Самая простая схема ИФ — *полностью абиотический синтез органики на катализаторе*. В 2014 году был открыт рутениевый катализатор, который при освещении синтезирует метан из H_2 и CO_2 . При оптимальных условиях, подразумевающих нагрев до 150 °C и интенсивное освещение, один грамм этого катализатора создает один миллимоль метана в час, что, конечно же, очень мало. Сами ученые, исследующие катализатор, признают, что такая скорость реакции при довольно высокой стоимости катализатора слишком низка для его практического применения.

Реальный фотосинтез — многостадийный процесс, на каждой стадии которого происходит потеря энергии. Отчасти это даже хорошо, потому что открывает большой простор для оптимизации. В случае же абиогенного фотосинтеза всё, что можно сделать — это придумать принципиально новый катализатор.

Совершенно иной подход к ИФ — *создание биореакторов, работающих на солнечной энергии*. В таких биореакторах, как ни странно, используют нефотосинтезирующие микроорганизмы, которые всё же могут фиксировать CO_2 , используя иные источники энергии.

Ознакомимся с несколькими типами конструкций аппаратов для ИФ на конкретных примерах.

В 2014 году были опубликованы результаты испытаний установки, которая переводит ток в биомассу с рекордным КПД 13%. Чтобы получить ИФ-реактор, достаточно подключить солнечную батарею. Эта установка по сути является электрохимической ячейкой (рис. 4a), где два электрода помещены в питательную среду с бактериями *Ralstonia eutropha* (они же — *Cupriavidus necator*). При подведении внешнего тока катализатор на аноде проводит расщепление воды на кислород и протоны, а катализатор на катоде — восстановление протонов до газообразного водорода. *R. eutropha* получает энергию для ассимиляции CO_2 в цикле Кальвина за счет окисления H_2 ферментом гидрогеназой [14].

В то же время типичный КПД для современных солнечных батарей — 15-20%, а опытные образцы достигли значения 46%. Такая разница в КПД рукотворных фотоячеек и живых растений объясняется прежде всего отсутствием стадий синтеза. Но есть и более тонкое отличие: растительные фотосистемы извлекают энергию только из фотонов видимого света с длинами волн 400–700 нм, причем выход от высокоэнергетических фотонов ровно такой же, как и от низкоэнергетических. Полупроводники, применяемые в солнечных батареях, улавливают фотоны более широкого спектра. А для максимального выхода в одну батарею объединяются материалы, созданные специально для разных частей спектра солнечного света.

Конечная цель инженеров ИФ — создать установку (или искусственный организм), который бы осуществлял фотосинтез лучше растений. Сегодня биоинженерная мысль достигла уровня, на котором можно попытаться это сделать. И от года к году попытки ученых становятся всё ближе и ближе к заветной цели, заставляя нас дивиться невероятным открытиям.

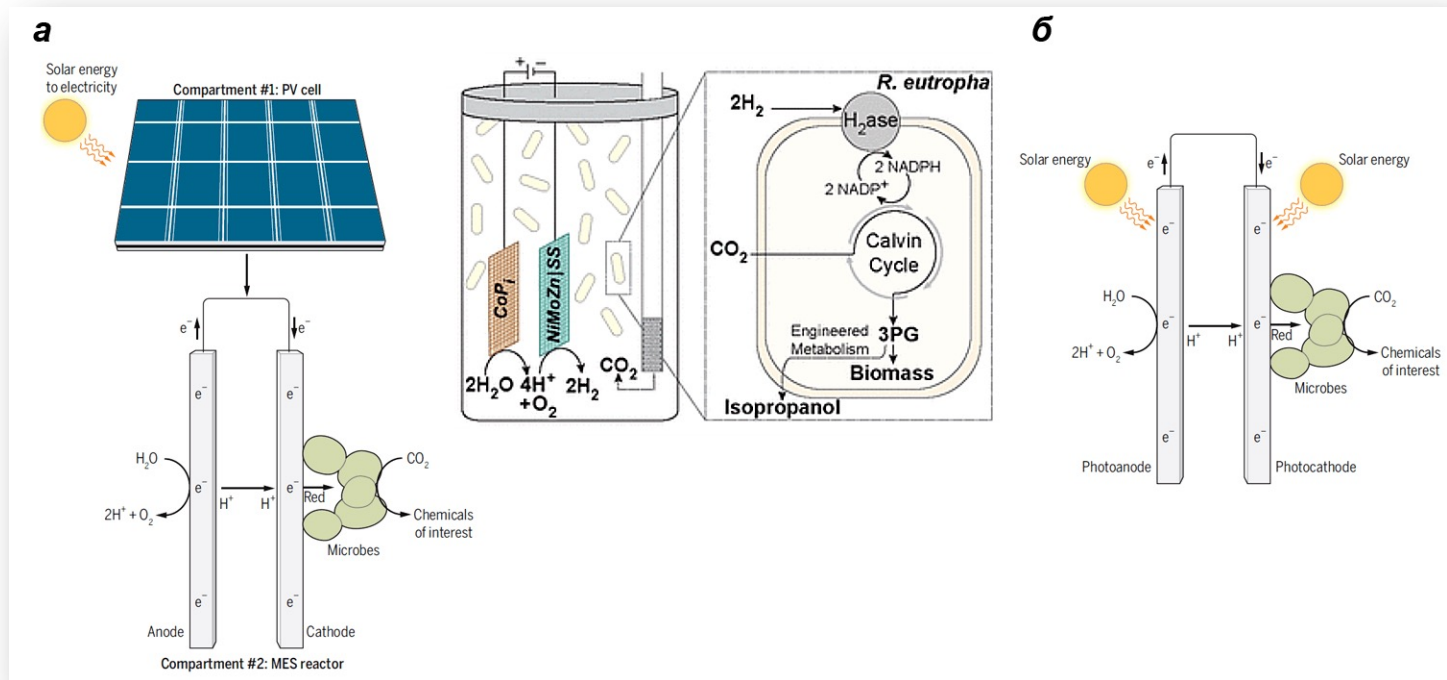


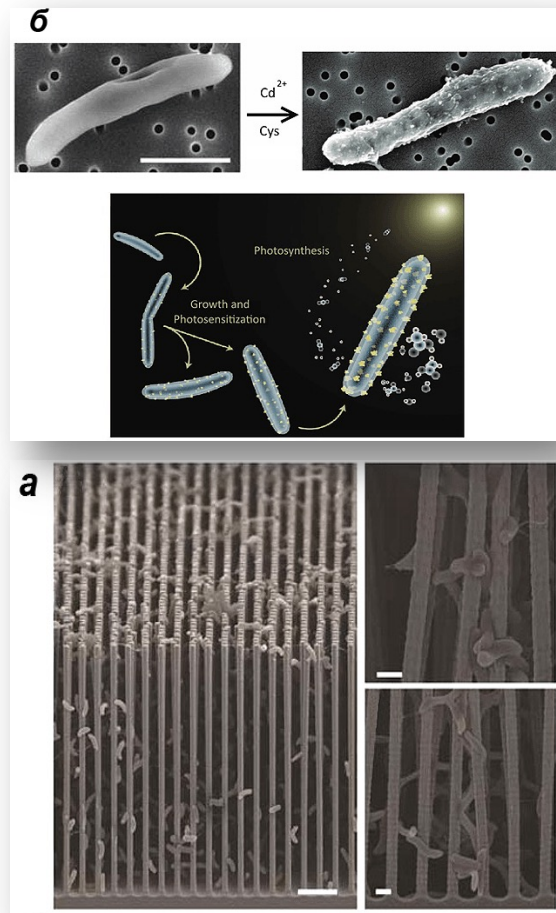
Рисунок 4. Биореакторы для ИФ на базе электрохимических ячеек. Ток может генерироваться за счет фотолиза воды на аноде при помощи солнечной батареи (**a**) или без неё (**б**). В обоих случаях забранные у воды электроны обеспечивают микробам-автотрофам восстановительные эквиваленты, необходимые для фиксации CO_2 [14].

Согласно расчетам разработчиков, совмещение их установки с типичной солнечной батареей (18% КПД) приведет к суммарной эффективности фотосинтеза 2,5%, если переводить всю энергию света в рост биомассы, и 0,7% — если использовать генетически модифицированных бактерий, синтезирующих бутанол. Такой результат сравним с эффективностью фотосинтеза в реальных растениях, хотя и не достигает уровня культурных растений. Способность *R. eutropha* синтезировать органику при наличии H_2 очень интересна не только в контексте ИФ, но и как возможное приложение водородной энергетики.

В 2015 году ученые из Калифорнии создали не менее интересную установку, где стадии светопоглощения и синтеза связаны более тесно. Фотоанод сконструированного реактора при освещении расщепляет воду на кислород, протоны и электроны, которые направляются по проводнику к катоду (рис. 4б). Чтобы повысить скорость фотоллиза воды, идущего на границе раздела фаз, фотоанод сделан из кремниевых нанопроводков, многократно увеличивающих его поверхность.

Катод этой установки состоит из «леса» TiO_2 -наностержней (рис. 5а), среди которых растут бактерии *Sporomusa ovata*. Электроны от фотоанода поступают именно к этим бактериям, которые используют их как восстановительные эквиваленты для превращения растворенного в среде CO_2 в ацетат.

Рисунок 5. Искусственный фотосинтез немыслим без наноматериалов. а — В ИФ-реакторе из статьи CO_2 фиксируют бактерии, растущие в «нанолесу» из кремниевых стержней, покрытых TiO_2 (слой 30 нм); этот нанолес создает необходимые бактериям анаэробные условия и повышает поверхностную плотность контактов бактерий с проводником. б — При принципиально ином подходе не бактерий помещают на полупроводник, а полупроводник — на бактерий; благодаря панцирю из CdS, умирающие на свету бактерии становятся фотосинтетиками [14].





- В течение нескольких последних лет многие компании, занимающиеся разработкой зеленых источников электроэнергии, ведут кропотливые исследования, направленные на поиски альтернативных методов ее получения. Так, голландская компания Plant-e добилась успеха в использовании для этой цели побочных продуктов фотосинтеза некоторых водолюбивых растений.
- Принцип получения электроэнергии в чем-то схож с известным школьным экспериментом, когда вставленные в картофелину или в лимон электроды позволяют извлечь немного электричества, однако описываемая здесь технология имеет более сложное устройство.
- Презентация новой технологии компании Plant-e прошла осенним вечером 2014 года в одном из парков Гамбурга. Проект носил название «Звездное небо» (Starry Sky), и суть его заключалась в том, что 300 обычных светодиодных светильников будут получать электричество от живых растений. Это и было продемонстрировано всем желающим наблюдателям, присутствующим в тот день на презентации [13].



Наряду с проектом «Звездное небо», компания Plant-e реализует системы питания точек доступа Wi-Fi, зарядные устройства для мобильных гаджетов, источники питания для подсветки транспортной инфраструктуры, дорожных знаков, и т.п., а также электрические модули для установки на крыши домов. Все это работает с применением энергии, получаемой от живых растений, причем без причинения этим растениям даже минимального вреда. Учредители Plant-e уверены в революционности технологии, поскольку метод совершенно экологически безопасен, а главное – есть возможность использовать обширные площади болот и рисовых полей для производства электроэнергии в промышленных масштабах там, где имеет место ее дефицит, и речь здесь идет о целых странах[12].

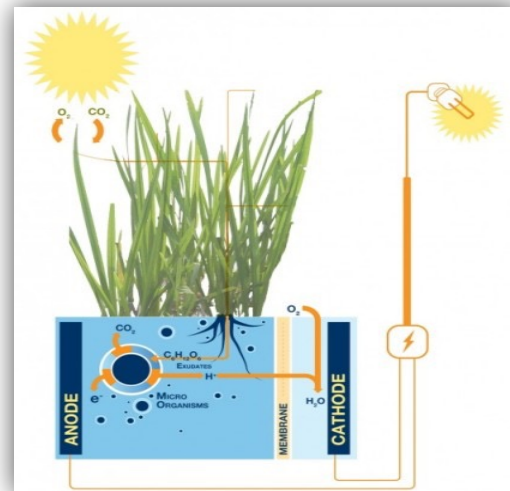




В основе технологии – своеобразный аккумулятор, представляющий собой квадратный пластиковый контейнер со стороной 50 см. Контейнер разделен на две части ионоселективной мембраной, через которую происходит движение ионов водорода к катоду.

В одной части контейнера расположена аэробная катодная камера, а в другой части – анаэробная анодная камера. К аноду устремляются свободные электроны, которые по внешней цепи передаются на катод. В результате соединения водорода с кислородом в катодной камере образуется вода, и генерируется электрический ток.

Это становится возможным, поскольку при фотосинтезе солнечная энергия преобразуется через листья в органические вещества, которые затем выводятся растением через корни в окружающую их влажную почву [13].





Часть органических веществ расходуется самим растением для обеспечения его жизнедеятельности, а оставшаяся в воде почвы их часть перерабатывается микроорганизмами, в результате чего образуется много свободных электронов, вот они то и используются для производства электричества.

Проще говоря, электроды, погруженные в эту влажную почву, захватывают электроны, и производят электрический ток.

По словам исполнительного директора компании Маржолейн Элдер, один квадратный метр площади сада, оборудованный таким образом, сможет произвести 28 кВт-ч электрической энергии в год, и это вполне пригодно для площадей, скажем в 100 квадратных метров и более, будь то садовый участок, или оборудованные аналогичным образом теплицы [13].



Биофотовольтаика

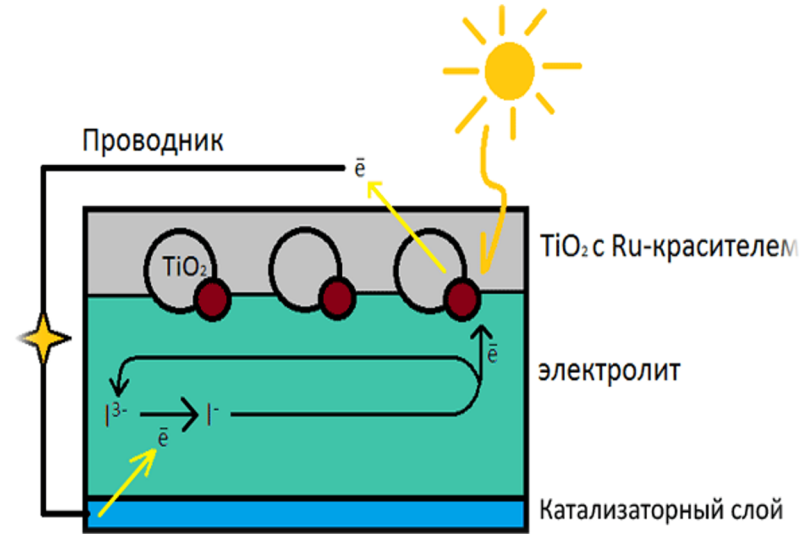
Одним из стремительно развивающихся направлений альтернативной энергетики является фотовольтаика. В 2012 изготовители солнечных батарей выпустили продукции на 68 потенциальных гигаватт, в то же время спрос на солнечные панели отстаёт от предложения рынка прежде всего по причине высокой стоимости оборудования. Сегодня массово используются разве что твердотельные кремниевые солнечные панели. Они просты в изготовлении, долговечны, безопасны и, что самое главное, — имеют КПД до 20%, что выше, чем у других типов панелей. Несмотря на дороговизну подобных систем, современный потребитель выбирает именно их, предпочитая бóльшую эффективность за бóльшую цену. В результате исторически сложившейся монополии на рынке фотоэлементов, интерес к альтернативным технологиям пока невелик.

Как же будет выглядеть будущее солнечной энергетики? Какой может быть та революционная технология, что даст толчок к повсеместному применению солнечных батарей? Возможно, такой технологией являются биофотоэлементы [15].

Биофотовольтаика

Но, прежде чем рассказывать о биофотоэлементах, автор статьи считает необходимым просветить читателя относительно принципов работы одного из видов солнечных батарей. Создатели батарей на основе красителей (Dye Synthesized Solar Cells — DSSC) черпали вдохновение в явлении фотосинтеза, при котором пигмент хлорофилл в растениях улавливает и передаёт электронам энергию света. На рисунке 1 приведена схема работы ячейки DSSC.

Свет улавливается красителем на основе рутения, который передаёт его энергию электрону полупроводника, в данном случае — TiO_2 . Получив энергию, электрон выталкивается из полупроводника, словно после мощного пинка. Пройдя по цепи, электрон совершает работу и попадает в катализаторный слой, который обеспечивает его переход в электролит. Электролит содержит трииодид-анионы. При поступлении электрона трииодид превращается в иодид. Иодид передаёт электрон TiO_2 и возвращается в исходную форму. Цикл замкнулся [15].



Биофотовольтаика

≈ЩСв 1970-х с пониманием процессов фотосинтеза стало понётно, что органические красители (в частности, природные) могут служить основой длё нового источника электроэнергии. Ёо вплоть до 1990-х годов никак не удавалось собрать более-менее эффективные системы типа DSSC. —ейчас часто нарёду с термином DSSC применёется словосочетание «ячейка Гретцеля» по фамилии Швейцарского учёного Михаэля Гретцеля (1944 г.р.; на заглавной картинке), который смог довести до ума старую идею и получить жизнеспособную технологию. Сейчас он один из самых цитируемых химиков в мире, обладатель целого ряда естественнонаучных наград высокого уровня и автор настоящего рекорда по КПД DSSC-ячейки Ч 15%.

” данной технологии есть важные преимущества: лёгкость конструкции, способность работать при низком освещении, малый перегрев при работе (за счёт малой массы), достаточно высокий η , то же мешает DSSC занёт место кремниевых батарей? —о-первых, токсичность электролита. —о-вторых, дороговизна красителей и слоё катализатора, в состав которого входит платина. —о-третьих, присутствие жидкого электролита

Проявление действия магнитных полей на растительные объекты

Геомагнитное поле в мире растений

Проявление действия магнитных полей на растительные объекты

Очень вероятно, что ГМП уже существовало до происхождения жизни на Земле, поэтому вся эволюция происходила в его присутствии. В связи с этим не вызывает удивления то, что растения, как и другие биообъекты, приспособились к его величине и могут его чувствовать. Это доказывают результаты экспериментов, приведенные ниже. В рамках настоящих исследований основной интерес представляют факты взаимодействия растений с постоянной составляющей ГМП (геомагнитного поля земли). Влияние постоянной составляющей ГМП на рост растений проявляется в обнаруженном явлении магнитотропизма и ориентационного эффекта в ГМП и в слабых однородных ПМП (постоянных магнитных полях). Тропизмами называют физиологическую реакцию изгибания растущего органа под действием какого-либо фактора . Анализ всех типов магнитотропизмов провел Новицкий . Он различает собственно три вида магнитотропических реакций и одну – смешанного типа[21].

Проявление действия магнитных полей на растительные объекты

Первый тип магнитотропизма обнаружил Одас. Изучая направление роста корешков кресс-салата и овса в сильно неоднородном магнитном поле на клиностате, он обнаружил, что корни изгибаются в сторону уменьшения градиента поля. Позже это явление было подтверждено и объяснено в работах [4, 5].

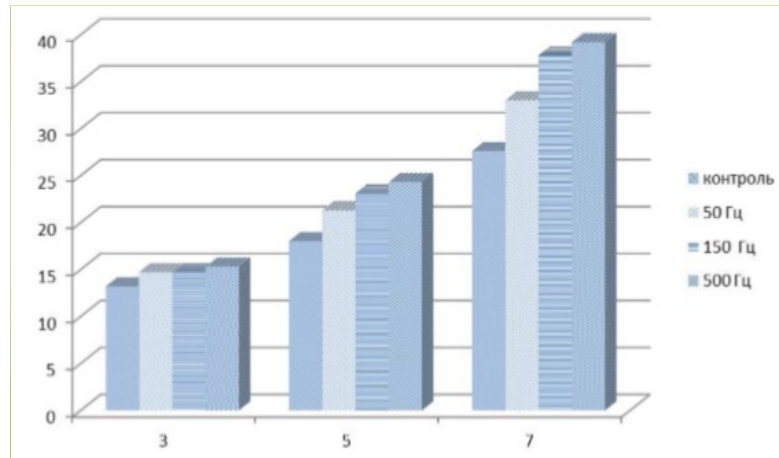
Второй тип магнитотропизма – реакция на полюса ПМП или ГМП был обнаружен Крыловым и Таракановой . Он заключается в том, что при свободной ориентации семян злаковых растений (кукурузы, пшеницы и т.д.) в горизонтальной плоскости при их прорастании в зависимости от видовых особенностей семян наблюдается изгиб первичных корешков проростков преимущественно в сторону южного магнитного полюса. Но этот эффект пока никем не был подтвержден.

Питман зафиксировал третий вид магнитотропизма. Он заключается в том, что корни озимой пшеницы и ряда других растений распределяются вдоль или поперек горизонтальной составляющей ГМП или искусственного МП при свободном посеве в почву. Опыты производились в различных районах Канады с отличающимся магнитным склонением. Таков же характер ориентации дикого овса, выросшего случайно в разных районах Северной Америки. Они также отклоняются за горизонтальной составляющей ГМП от направления север-юг . Здесь необходимо отметить, что ежедневное вращение сосудов, в которых проращивались растения, на 90° в горизонтальной плоскости приводило к беспорядочному направлению роста корней. По мнению автора, это подтверждает ориентирующую роль ГМП.

Проявление действия магнитных полей на растительные объекты

Показано, что воздействие МП различной амплитуды, частот при различной экспозиции могут приводить к неоднозначным эффектам, служить как слабым стимулирующим, так и мутагенным и митотаксическим фактором. Поскольку МП представляют собой важный экологический фактор, воздействующий на растений в течение всей их эволюции, то исследование биологической роли МП, как повышенных, так и слабых имеет важное значение. Объектом исследований служили луковицы *Allium cepa* L.

Схема вариантов исследования по всем изученным образцам была следующей: 1) контроль – необработанные луковицы; 2) луковицы, облученные МП частотой 50 Гц; 3) луковицы, облученные МП частотой 150 Гц; 4) луковицы, облученные МП частотой 500 Гц. Мощность МП для всех вариантов одинаковая – 30 МВт. Перед облучением луковицы предварительно проращивали в кювете на смоченной ватной подушке, так чтобы донце соприкасалось с водой в течение 2-х дней [21].



Вывод действия магнитных полей на растительные объекты

Таким образом, проведенный автором цитофизиологический анализ изучаемых образцов, а также литературные сведения убеждают в том, что важным внутренним фактором, обуславливающим уровень урожайности, является степень синхронизации пролиферативных процессов в меристеме зародышевых корешков, что в свою очередь влияет на ростовые процессы[21].

Список Литературы

1. Беркинблит М.Б., Глаголева Е.Г. Электричество в живых организмах. - М.: Наука, 1988. - 288 с. - (Б-чка «Квант»; Вып. 69).
2. Оприлов В.А. Электричество в жизни животных и растений // Соревновательный образовательный журнал. - 1996. - №23. - С. 40-46.
3. Никифорова Л.Е., Кизим И.В., Богатырев Ю.О., Бабенко Е.Н. Роль БЭП в жизнедеятельности растительных биообъектов // Научный вестник таврийского державного агротехнологического университета. - 2012. - №11. - С. 164-168.
4. Страпко А.М., Касаткин М.Ю., Степанов С.А. Светозависимая биоэлектрическая активность проростков пшеницы // Изв. Саратов. ун-та Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. - 2016. - №1. - С. 59-63.
5. Шогенов Ю. Х., Романовский Ю.М. Отклики растений на действие локального низкоинтенсивного электромагнитного излучения в инфракрасном и миллиметровом диапазонах длин волн // Современные задачи инженерных наук. - М.: 2017. - С. 163-167.
6. Бондарева Л.А. Исследование нормальности распределения вероятности результатов измерения биоэлектрических потенциалов растений // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2012. - №5. - С. 115-118.
7. Озолина И.А. Влияние ионного состава среды на генерацию биоэлектрических потенциалов растительной клеткой: автореф. дис. ... канд. биол. - М., 1964. - 18 с.
8. Поздняков А. И. Биоэлектрические потенциалы в системе почва-растение // Почвоведение. - 2013. - №7. - С. 813-821.
9. Кочубей С.М. Сравнение особенностей организации мембранных комплексов фотосистем в хлоропластах высших растений // Физиология и биохимия культ. растений. - 2010. - Т. 42.-№1. - С. 23-36.
10. Медведев С.С. Механизмы формирования и физиологическая роль полярности в растениях // Физиология растений. - 2012. - Т. 59.-№4. - С. 543-556.

Список Литературы

11. Растительное электричество: Ток из листьев // ropmech.ru: ежед. интернет-изд. 2009. 6авг. URL: <https://www.ropmech.ru/technologies/9378-rastitelnoe-elektrichestvo-tok-iz-listev/> (дата обращения: 19.11.2017).
12. Plant-e technology // Plant-e. 2007. 14 апр. URL: <http://www.plant-e.com/en/plant-e-technology/> (дата обращения: 25.11.2017).
13. Технология Plant-e - электричество из растений // Электрик Инфо-все для электрика. 2008 URL: <http://elektrik.info/main/news/971-tehnologiya-plant-e-elektrichestvo-iz-rasteniy.html> (дата обращения: 25.11.2017).
14. Союз листа и металла: искусственный фотосинтез // Биомолекула. 2007 URL: <https://biomolecula.ru/articles/soiuz-lista-i-metalla-iskusstvennyi-fotosintez> (дата обращения: 25.12.2017).
15. Биофотовольтаика. По-настоящему зелёная энергия // Биомолекула. 2007 URL: <https://biomolecula.ru/articles/biofotovoltaika-po-nastoiashchemu-zelionaiia-energiia> (дата обращения: 25.12.2017).
16. Волонтер фотосинтеза // Биомолекула. 2007 URL: <https://biomolecula.ru/articles/volonter-fotosinteza> (дата обращения: 25.12.2017).
17. Серяпова В.Ю. К вопросу о воздействии магнитных полей на продуктивность культурных растений. // Вопросы теории и практики в современной науке. - Самара: Общество с ограниченной ответственностью "Центр научных исследований и консалтинга", 2017- С. 88-93.
18. Бинги В.Н. Магнитобиология. Эксперименты и модели. - М.: МИЛТА, 2002. - 592 с.
19. Искусственный фотосинтез: когда мы научимся жить без растений // МИА «Россия сегодня» URL: <https://ria.ru/science/20171126/1509542059.html> (дата обращения: 09.01.2018).
20. Электричество в организме растений // Международная общественная организация (МОО) «Наука и техника» URL: <http://n-t.ru/ri/ar/zv20.htm> (дата обращения: 22.12.2017)
21. Кумук Н.К. Влияние магнитного поля на начальные этапы онтогенеза лука *allium* сера I // Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков . - 2015. - №10. - С. 70-74.