

УДК 004.03

О роли «древесного интеллекта» в решении экологических, экономических и воспитательных задач

Классен Николай Владимирович

klassen@issp.ac.ru
SPIN-код: 9911-3313*Институт физики твердого тела имени Ю.А. Осипяна РАН, Черноголовка, Россия*

Аннотация. В статье приведены экспериментальные факты об аномально сильных пьезоэлектрических реакциях растительных материалов на изменения внешних условий, значительно усиливающих жизнестойкость растений. Эти способности древесных растений обеспечиваются особой структурой молекулярных слоев воды на внутренних стенках капилляров, благодаря чему в растениях действует эффективная передача сенсорных и управляющих сигналов, а также транспортировка питательных веществ посредством движения внутри капилляров электромеханических волн. На основании полученных результатов экспериментальных исследований разработаны экономичные и экологичные методики очистки целлюлозы, производства и аккумуляирования водорода.

Ключевые слова: пьезоэлектричество древесины, сегнетоэлектрическое упорядочение воды, электромеханические волны, целлюлоза, экология, водородная энергетика

On the role of “wood intelligence” in resolving of ecological, economical and pedagogical problems

Klassen N.V.

klassen@issp.ac.ru
SPIN-code: 9911-3313*Osipyan Institute of Solid State Physics of the Russian Academy of Sciences, Chernogolovka, Russia*

Abstract. The article presents experimental evidence of anomalously strong piezoelectric responses of plant materials to changes in external conditions, significantly enhancing plant viability. These abilities in woody plants are enabled by the special structure of the molecular layers of water on the inner walls of capillaries, enabling efficient transmission of sensory and control signals, as well as the transport of nutrients through the movement of electromechanical waves within the capillaries. Based on the experimental results, cost-effective and environmentally friendly methods for cellulose purification and hydrogen production and storage have been developed.

Keywords: piezoelectricity of wood, ferroelectrical ordering of water, electromechanical waves, cellulose, ecology, hydrogen energetics

Введение. В названии статьи слова «древесный интеллект» взяты в кавычки из-за отсутствия у биологов единого мнения о существовании интеллекта растений. Профессор Лестеха (ныне — Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана) Б.Н. Уголев в своих работах по древесиноведению ввел термин

“smart wood” («умная древесина»), связывая ряд свойств этого растительного материала с проявлениями интеллекта (например, эффект памяти формы [1]). В публикациях академика Ю.Х. Шогенова по электрическим процессам в растениях фигурирует понятие их «минимального сознания» [2]. Руководитель Международной лаборатории нейробиологии растений профессор С. Манкузо в нескольких книгах приводит факты в пользу признаков мышления у растений [3]. Другие же известные биологи (например, профессор Калифорнийского университета Санта Барбара Л. Таиз [4]) считают, что у растений интеллекта нет хотя бы из-за отсутствия у них мозга.

Наши исследования физических свойств растительных материалов, проводимые в сотрудничестве с кафедрой древесиноведения МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана [5–9], выявили способности растений адекватно реагировать на изменения внешних условий, модифицируя свое поведение для минимизации вреда от них. Такие способности — общепринятый признак хотя бы минимального интеллекта [10].

Материалы и методы. Экспериментальные исследования физических свойств растительных материалов проводились на действующих комнатных растениях, на срезанных древесных и зеленых компонентах, а также на приготовленных их измельчением водных суспензиях. Измерялись зависимости электросопротивления, электродвижущей силы, генерируемой деформированием и освещением, оптических характеристик излучения, преломления и поглощения света, внутренней структуры и внешней морфологии в зависимости от влажности, параметров приложенного электрического поля, прилагаемых деформаций, характера светового облучения. Структурные изменения растительных компонентов отслеживались оптической и электронной микроскопией и инфракрасной спектроскопией.

Результаты. Среди полученных экспериментальных результатов привлекает внимание многократное усиление электрических и пьезоэлектрических параметров древесных и зеленых компонентов растений при насыщении влагой. Сильные различия в поведении «свежих» и подсохших растительных компонентов особенно заметно проявляются в их пьезоэлектрических характеристиках. Например, при измерениях электродвижущей силы, генерируемой при изгибающем деформировании стебля свежесрезанной ветки клена было обнаружено многократное возрастание величины электродвижущей силы при повторных изгибах, которые производились с интервалами в 30 секунд. При первом изгибе возникла ЭДС амплитудой 50 мВ, при втором — 150 мВ и так далее до шестого изгиба, когда ее величина достигла 700 мВ.

Это не было накоплением генерируемой разности потенциалов, так как в перерыве между изгибаниями разность потенциалов спадала до нуля. Спустя неделю после такого испытания, в которую эта ветка не имела контакта с водой, эксперимент был повторен. В этом случае при первом изгибании также возникла ЭДС на уровне 50 мВ. Но, в отличие от предшествовавшего эксперимента, повторения изгибаний производили те же 50 мВ, т. е. никакого нарастания амплитуды, как было неделю назад, не наблюдалось. Затем эта

ветка на один час была поставлена в стакан с водой, после чего снова были проделаны опыты со сгибанием. И в этом случае опять наблюдалось последовательное увеличение амплитуд пьезоэлектрической ЭДС.

На микроволокне, извлеченном из засохшего стебля крапивы, был проведен эксперимент по обратному пьезоэлектрическому эффекту, т. е. измерялась деформация волокна под действием электрического поля. Микроволокно было уложено на две параллельные алюминиевые пластины перпендикулярно им с расстоянием между пластинами 5 мм. На электроды подавалось постоянное электрическое поле с амплитудой 30 вольт. Состояние этого микроволокна регистрировалось видеозаписью через поляризационно-оптический микроскоп. Никакой реакции сухого волокна на включение поля не наблюдалось.

После этого при включенном поле на середину волокна шприцем нанесли каплю воды. За доли секунды эта капля втянулась внутрь волокна, а через несколько секунд начались колебания волокна с амплитудой отклонений его середины от оси приблизительно на одну десятую длины свободной части волокна между электродами. Относительное увеличение длины волокна при этом превышает 2 %. Для столь большого удлинения по пьезоэлектрическому механизму для обычных пьезоэлектриков типа кварца требовалось бы поле, в сотни раз превышающее действующее в нашем случае. То есть системы «растительные микрокапилляры — вода» обладают аномально высокими пьезоэлектрическими параметрами. При воздействиях электрического поля небольшой величины (порядка 100 в/см) на водные суспензии измельченных древесных отходов обнаружено быстрое растворение лигнина, связывающего целлюлозу, и проявление по этой причине оптически прозрачных целлюлозных волокон.

Превращение лигнина в растворимое в воде вещество объясняется его сильной электрической поляризацией под действием внешнего поля, делающей энергетически выгодным связывание фрагментов лигнина с большими дипольными моментами молекул воды. Наши оценки показывают, что происходящая таким образом делигнификация целлюлозы потребляет внешней электроэнергии значительно меньше той, которая затрачивается на обычно применяемую технологию очистки целлюлозы от лигнина вывариванием древесной пульпы в кипящих водных растворах серной кислоты или щелока. Еще один существенный фактор экономии электроэнергии — одновременное формирование при примененной нами электролизной очистке целлюлозы большого количества водорода, освобождаемого при разложении лигнина и молекул воды. Важно подчеркнуть, что при этом наблюдается и самоаккумулирование водорода в пену из пузырьков миллиметрового масштаба с механически прочными оболочками, образованными из органических компонентов, возникающих при электролизе. Этот результат представляет большой интерес для водородной энергетики, так как за один процесс решаются три технологические проблемы — экологичного и экономичного получения целлюлозы, а также получение водорода с его одновременным аккумулярованием.

ем, которое обычно является технически более сложной задачей по сравнению с его электролизным производством.

Обсуждение результатов. Представленные в данной работе экспериментальные факты, как и опубликованные ранее данные об эффекте памяти формы древесины [1, 5, 6] свидетельствуют об активном участии в них взаимодействия молекул воды с растительными компонентами. Мы предположили, что важным фактором этого являются процессы электромеханической связи целлюлозы как сильного пьезоэлектрика с молекулами воды, обладающими рекордно высоким дипольным моментом [5–7]. Эти предположения получили серьезную поддержку в недавней публикации об экспериментальном обнаружении на границах жидкой воды с твердыми поверхностями нескольких слоев из молекул воды, ориентированных своими дипольными моментами параллельно этим поверхностям [11].

Радикальным отличием приповерхностного состояния воды от ее обычной тетраэдрической структуры является гигантская диэлектрическая проницаемость для параллельных поверхности электрических полей — более тысячи, что на порядок больше проницаемости обычной воды и на два порядка больше, чем у большинства диэлектриков. Это указывает на появление у приповерхностной воды сегнетоэлектрических свойств, обусловленных сильно скоррелированной ориентацией дипольных моментов молекул. Такое замечательное качество приконтактных областей растительных капилляров, заполненных водными растворами, существенно проясняет механизмы многих особенностей, присущих древесным материалам.

Рекордные пьезоэлектрические модули пучков целлюлозных капилляров обусловлены их сегнетоподобными электрическими поляризациями. Поэтому даже незначительные деформации древесных стеблей создают высокие электрические потенциалы и, наоборот, возмущения внутреннего электрического баланса внешними электрическими воздействиями приводят к большим механическим деформациям. Хорошо известна очень большая разница механической прочности свежих и сухих древесных стеблей. Свежие выдерживают без повреждений многократные большой величины изгибы, а сухие той же толщины сразу же ломаются. Сегнетоэлектрическое упорядочение воды придает стенкам целлюлозных капилляров дополнительную упругость и прочность, заметно улучшая условия генерации и распространения в них электромеханических волн [5–7]. Эти волны в действующем дереве выполняют по меньшей мере две функции: быстрой передачи сенсорных и управляющих сигналов и эффективной транспортировки по капиллярам веществ, необходимых для жизнедеятельности растения. При возникновении сильной деформации с возможностью разрушения из зоны опасности излучается сигнальная электромеханическая волна, после чего в эту зону оперативно другой волной доставляются компоненты, устраняющие опасность. Этот процесс отражается в описанном выше возрастании электропотенциала при последовательных изгибах ветки.

Столь эффективные приемы самозащиты деревьев работают и в других опасных ситуациях, возникающих практически непрерывно. Это в опреде-

ленной степени можно считать признаками «минимального интеллекта», без которого растения не смогли бы накопить столь многолетний опыт выживания. И во многих случаях человечеству есть чему поучиться у «древесного интеллекта». Характерный пример — представленный выше способ экономического и экологического получения целлюлозы и водорода из древесных отходов, созданный на основе внутренних потенциалов древесины деревьев и противодействующий применяемому сейчас затратному и двукратно опасному экологически вывариванию древесной пульпы в токсичных растворах для отделения целлюлозы от лигнина. Во-первых, при таком производстве целлюлозы окружающие окрестности обрабатываются уничтожающими все живое ядовитыми испарениями. Кроме того, на этих производствах накапливаются горы лигнина, зараженного токсичными компонентами, которые постепенно просачиваются в грунтовые воды, значительно расширяя отравленные площади. Второй экологически вредный аспект — массовые вырубки лесов для производства целлюлозы, которые из-за быстрого роста потребностей в целлюлозе должны все более расширяться. А новый способ производства целлюлозы, как бы подсказанный нам растениями, может полностью прекратить эти вырубки, так как количество ежегодно производимых древесных отходов в несколько раз превышает их объем, необходимый для получения целлюлозы даже с учетом расширяющихся потребностей в ней. В принципе можно запретить вырубки леса вообще, а для производства целлюлозы использовать отжившие свой срок деревья, которые в любом случае надо из леса удалять.

Наряду с экологическими и экономическими выигрышами изучение обширного набора закономерностей поведения деревьев (основная часть которых пока еще людьми не понята) имеет и большое воспитательное значение. В последние годы заметно обострилась проблема привлечения к научно-технической деятельности способной молодежи. С одной стороны, усиливается потребность в технологическом суверенитете страны для повышения и обороноспособности, и уровня жизни. С другой стороны, налицо падение среди школьников интереса к естественным наукам.

Эту проблему можно устранить вовлечением подростков в исследования природных процессов, происходящих в растительных материалах. Наш многолетний опыт работы со школьниками по исследовательским проектам содержит десятки примеров продуктивных результатов по изучению растительных материалов, которые серьезно способствовали и углублению понимания их свойств, и созданию перспективных технологий типа приведенных выше по производству целлюлозы и водорода. У растительных материалов как объектов школьных исследовательских проектов несколько плюсов. Они легко доступны и экологически безопасны. Природные процессы в растениях, в отличие от искусственных материалов, пока еще мало изучены. Поэтому школьники на обычных приборах, имеющихся в каждой школе, при затратах четырех — пяти часов времени в неделю часто получают новые научные результаты, являющиеся предметами серьезных научных статей и

патентов. Все наши публикации, указанные в этой статье, зарождались в исследовательских проектах школьников разных лет.

Стимулы для школьников — удовлетворение естественного детского любопытства, самоутверждение себя как значимой личности, дополнительные баллы для портфолио при поступлении в ВУЗы. У нас есть несколько примеров, как благодаря призовым местам на всероссийских научных конференциях школьных проектов наши подшефные выпускники школ были приняты в ведущие ВУЗы практически вне конкурса. Безусловно, для столь продуктивных исследований необходимо грамотное научное руководство. Сотрудники Института физики твердого тела накопили большой позитивный опыт такой работы и готовы ее продолжать. Важно подчеркнуть, что развитие Интернета обеспечило возможность эффективного руководства школьными проектами онлайн (когда руководитель и его подопечный отделены друг от друга тысячекилометровым расстоянием). Это позволяет вовлекать в науку не только детей из городов по системе Кванториумов, но и выращивать новых Ломоносовых в самой далекой глубинке.

Заключение. За миллионы лет продуктивной жизнедеятельности на нашей планете растения накопили столь обширный и многообразный опыт успешного выживания среди всевозможных опасностей, что людям следовало бы поучиться у растительного мира умению оптимально реагировать на то и дело возникающие природные катаклизмы вне зависимости от их отношения к «древесному интеллекту».

Автор выражает искреннюю благодарность Владимиру Ивановичу Фалько за интерес к работе и полезные обсуждения.

Список источников

- [1] Ugolev B.N. Wood as a natural smart material. *Wood Sci. Technol.*, 2014, vol. 48, pp. 553–568. <https://doi.org/10.1007/s00226-013-0611-2553-568>
- [2] Шогенов Ю.Х., Мазуров М.Е., Толоконников Г.К. Современные представления о минимальном сознании растений. *Биомашистемы*, 2025, т. 9, № 3, с. 367–370.
- [3] Манкузо С. *О чем думают растения. Тайная жизнь, скрытая от посторонних глаз.* Москва, Эксмо, 2020, 288 с.
- [4] Kingsland S., Taiz L. Plant “intelligence” and the misuse of historical sources as evidence. *Protoplasma*, 2024, vol. 262 (2), pp. 223–246. <https://doi.org/10.1007/s00709-024-01988-1>
- [5] Sanaev V.G., Gorbacheva G.A., Galkin V.P., Klassen N.V., Vinokurov S.A. Prospects for using unique physicochemical properties of plants and their ability for self-regeneration in space. *AIP Conf. Proc.*, 2019, vol. 2171, pp. 180002-1–180002-7. <https://doi.org/10.1063/1.5133343>
- [6] Vinokurov S.A., Tsebruk I.S., Betenina T.D., Klassen N.V. Modulation of structure and optical properties micro-fibrils of plants by means of electrical, deformation and optical treatments. *Journal of Physics Conference Series*, 2020, vol. 1560, art. no. 012042. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1560/1/012042>
- [7] Классен Н.В., Винокуров С.А., Горбачева Г.А., Санаев В.Г. Электромеханические факторы в проявлениях и применениях концепции Б.Н. Уголева о древесине как «умном» материале. *Русский инженер. III Междунар. конгресс: сб. тез.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025, с. 86–87.

- [8] Классен Н.В., Горбачева Г.А., Санаев В.Г. Экологичное получение целлюлозы электролизом древесных отходов. *Русский инженер. II Всерос. конгресс с междунар. уч.: сб. тез.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024, с. 270–271.
- [9] Классен Н.В., Топоркова А.А. Экономичное получение и аккумуляирование водорода электролизом растительных материалов. *Русский инженер. II Всерос. конгресс с междунар. уч.: сб. тез.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024, с. 268–269.
- [10] Хокинс Дж., Блейкли С. *Об интеллекте*. Москва, ИД «Вильямс», 2007, 128 с.
- [11] Wang R., Geim A.K., et al. In plane dielectric constant and conductivity of confined water. *Nature*, 2025, vol. 646, pp. 606–610. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.21538>