

53. Antonov A. A. (2016) Dark matter, dark energy and antimatter are located in the hidden Multiverse. PONTE. 72(9) 288-300. doi: 10.21506/j.ponte.2016.9.22

54. Antonov A. A. (2019). The special theory of relativity in the 20-th century was not and could not be created. Journal of Russian physical-chemical society. 91(1) 57-94. In Russian. <http://rusphysics.ru/files/Antonov.91-1.pdf>

55. Antonov A. A. (2020). Comparative Analysis of Existing and Alternative Version of the Special Theory of Relativity. Journal of Modern Physics. 11(2) 324-342. doi:10.4236/jmp.2020.112020

56. Antonov A. A. (2020) How to See Invisible Universes. Journal of Modern Physics, 11, 593-607. <https://doi.org/10.4236/jmp.2020.11503>

57. Chernobrov V.A. (2000) Encyclopaedia of Mysterious Places of the Earth. Veche Publishing, Bucharest. In Russian.

58. Dyson, F. W.; Eddington, A. S.; Davidson, C. (1920). A Determination of the Deflection of Light by the Sun's Gravitational Field, from Observations Made at the Total Eclipse of May 29, 1919. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 220, 291-333. doi:10.1098/rsta.1920.0009.

## UNCONVENTIONAL SOURCES OF RENEWABLE ENERGY (SURVEY PAPER)

**Kozlov V.N.**

*Doctor of Technical Sciences*

*Independent Scholar*

*St. Petersburg, Russia*

DOI: [10.24412/2701-8377-2021-4-1-47-55](https://doi.org/10.24412/2701-8377-2021-4-1-47-55)

## НЕТРАДИЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ (ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ)

**Козлов В.Н.**

*Доктор технических наук*

*Независимый специалист*

*Санкт-Петербург, Россия*

### Abstract

The article examines the water resource as an unconventional source of electric energy. Water as a dipole liquid consists mainly of H<sub>2</sub>O molecules, one mole of which contains approximately 10<sup>4</sup> C/mole of electricity. The development of water electricity began with the Kelvin water-drop electrostatic generator (1867). Currently, many laboratories and research centers around the world are working on devices for generating electric current from water droplets using the balloelectric and triboelectric effects. The power produced by such generators is insignificant, however it is sufficient for home and street lighting, recharging of wearable electronics. Applying balloelectric and triboelectric effects to easily available water resources will lead to the creation of autonomous electric generators to replace the currently used hydrocarbon, nuclear ones, etc.

### Аннотация

В статье рассматривается водный ресурс как нетрадиционный источник электрической энергии. Вода как дипольная жидкость, состоит преимущественно из молекул H<sub>2</sub>O, 1 моль которых содержит приблизительно 10<sup>4</sup> Кл/моль электричества. Освоение электричества воды началось с капельницы Кельвина (1867 года). В настоящее время многие лаборатории мира разрабатывают генераторы для получения электрического тока из капель воды, используя баллоэлектрический и трибоэлектрический эффект. Получаемые мощности таких генераторов незначительные, но достаточные для домашнего и уличного освещения, подзарядки носимой электроники. Применение баллоэлектрического и трибоэлектричество эффектов к легкодоступным водным ресурсам позволит привести к созданию автономных электрических генераторов взамен используемых в настоящее время углеводородных, ядерных и др.

**Keywords:** Renewable sources of energy, water structure, balloelectric and triboelectric effects, electric current generators.

**Ключевые слова:** Возобновляемые источники энергии, структура воды, баллоэлектрический и трибоэлектрический эффекты, генераторы электрического тока.

### Введение

Растущий в мировой экономике спрос на электрическую энергию обуславливает необходимость поиска новых энергоносителей и создания новых технологий получения и передачи электричества. Это связано с тем, что существующая структура энергетического комплекса не является совершен-

ной для развивающейся электрификации всех видов транспорта и декарбонизации мировой энергетики. Необходимость ограниченного применения традиционной энергетики с использованием углеводородного топлива и ядерной энергетики возникла в связи с загрязнением окружающей среды, потеплением климата, исчерпаемостью невозоб-

новляемых источников энергии и ряда других факторов. Развитие энергетики на основе возобновляемых и нетрадиционных источников энергетики может привести к существенному изменению в традиционной энергетике, основанной на использовании углеводородного топлива, ядерной и термоядерной энергетики, ограничению выбросов CO<sub>2</sub>.

Ядерная энергетика («мирный атом») после Чернобыля и Фукусимы представляется весьма опасной как в эксплуатационном отношении, так и в содержании отходов производства, которые представляют угрозу для человека и окружающей среды в течение многих столетий. Немаловажными факторами являются также истощение углеводородных ресурсов, изменение климата, вызванное антропогенным потеплением, неравномерное распределение водных ресурсов, увеличение народонаселения и ряд других факторов [1].

В настоящее время наряду с традиционными источниками энергетики ведутся поиски и используются возобновляемые источники энергии (ВИЭ) [2,3 и др.]. К ним относятся гелиоэнергетика, круговорот воды в природе, энергия океана, ветра и глубинных слоев земли, растительный и животный мир, вращение Земли [4] и другие природные явления и процессы. Ресурсы ВИЭ, обязанные своим происхождением солнечной энергетике, на ближайшие 5 млрд. лет, пока Солнце не превратится в белый карлик [5], являются неисчерпаемыми. При рассмотрении возможных источников ВИЭ необходимо рассматривать потенциальную энергию водных ресурсов, в избытке находящихся на Земле, а также обнаруженных на Луне, Марсе и др. планетах [6,7,8]. В приполярных районах Луны при температуре ниже 110К лунный грунт содержит воду на площади 18600 км<sup>2</sup> в районе южного полюса Луны и 14750 км<sup>2</sup> в окрестностях северного полюса [6].

Воду можно рассматривать и как традиционный источник энергии (ГЭС и др.) и как НВИЭ, т.е. нетрадиционный возобновляемый источник энергии (баллоэлектрический эффект, электростатические генераторы, МГД и др.). ВИЭ рассматривается экспертами как привлекательный с точки зрения рентабельности сектор. Специалисты международного агентства по ВИЭ IRENA считают, что через несколько лет стоимость энергии, генерируемой ВИЭ, будет в разы ниже, чем традиционной [9].

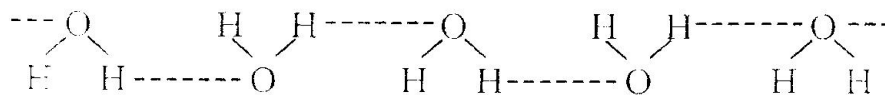


Рис. 1 Водородная связь воды [11]

Водородная связь – это коллективное взаимодействие молекул, играющее основную роль в динамических и структурных свойствах воды. Водородная связь объясняется тем, что электрон атома водорода слабо связан с протоном и легко смещается к электроотрицательному атому кислорода. Исследованиями также установлено, что атом водорода, ковалентно связанный с атомом кислорода,

Водные ресурсы Земли занимают большую часть ее поверхности (~71%). Вода в настоящее время - практически обязательный компонент всех технологических процессов в жизнедеятельности человека. Со времени Д. Уатта (1871г.) человечество использует механическую энергию воды и водяного пара, получаемого путем нагревания воды, для генерации электрического тока. Одновременно являясь носителем механической энергии вода является носителем электричества, так как молекула воды (H<sub>2</sub>O) состоит из положительно (H<sup>+</sup>) и отрицательно (OH<sup>-</sup>) одинаково заряженных частей, являясь в целом нейтральной. В статье приводится описание структуры воды и рассматривается возможность ее использования для генерации электрического тока.

#### Структура воды и льда

В связи с предложением об использовании воды как рабочего тела для получения электрической энергии целесообразно провести анализ исследований, касающихся особенностей состояния и структуры воды. На основании такого анализа могут быть определены основные положения о воде как дипольной жидкости, которые могут быть использованы для генерации электрического тока. В природе вода находится в трех фазовых состояниях: водяной пар, жидкая вода и твердое состояние (лёд). Лёд может находиться в нескольких кристаллических состояниях, известных в настоящее время, в зависимости от температуры и давления [10].

Молекула воды обладает максимальной энергией связи и наибольшим потенциалом ионизации среди других молекул. Распределение электронной плотности заряда по молекуле H<sub>2</sub>O анизотропно. На атомах H<sup>+</sup> сосредоточены заряды q<sub>+</sub> ~ +0,3e и заряд q<sub>-</sub> ~ -0,3e на радикале OH<sup>-</sup>, где e ~ -1,6·10<sup>-19</sup> Кл заряд электрона. Один моль воды (~ 0,012кг) содержит положительный и отрицательный заряды:

$$q_+ \sim q_e \cdot N_A \sim 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ Кл/моль} \sim 10^4 \text{ Кл/моль}, \text{ где } N_A - \text{постоянная Авогадро. (1)}$$

На молекулярном уровне вода представляет собой совокупность случайным образом расположенных водородных связей. В жидкой воде, как известно [11,12 и др.], водородная связь образуется между атомами водорода одной молекулы воды и атомом кислорода другой молекулы воды согласно схеме (рис. 1.):

может вступать в связь еще с другим атомом такого же элемента. Такая особенность атома водорода обусловлена тем, что, отдавая свой электрон на образование связи с атомом кислорода, он остается в виде ядра очень малого размера, почти лишенного электронной оболочки. Поэтому он не испытывает отталкивания от электронной оболочки другого атома, а наоборот, притягивается и может вступать

с ней во взаимодействии. В результате создаются условия для сближения атомов O...O [13,с.81]. В связи с этим в работе [14] отмечается, что вода как жидкость с точки зрения химии не может быть представлена единственным набором одинаковых молекул  $H_2O$ , а представляет собой водный раствор. Модель водного раствора является неравновесной системой и ее свойства могут меняться со временем. Предложенная модель воды предполагает образование нанокластеров, в которых молекулы  $H_2O$  и  $H_2O_2$  объединены посредством водородных связей. Вода – это сложная система различных молекул, ионов и ассоциатов. В результатах изучения морфологии поверхности воды, приведенных в работе [11], были зафиксированы надмолекулярные структурные образования в виде фибрилл, дендритов, ламелей, сферолитов. Это указывает на наличие шероховатости поверхности воды.

Теоретические расчёты показывают, что величина энергии водородной связи в воде составляет приблизительно 10-50 кДж/моль. В пересчёте на одну молекулу (каждая связь относится к двум молекулам) это будет около 0,1 эВ/молекула. В порядке сопоставления, ионная связь составляет 8-10

эВ/молекула ( $10^2$  кДж/моль), ковалентная - 5 - 10 эВ/молекула, сила Ван-дер-Ваальса равна примерно  $10^{-2}$  эВ/молекула (0,1-1 кДж/моль). При переходе воды в пар расходуется энергия 0,39 эВ/молекула, а при плавлении льда - 0,06 эВ/молекула. Если считать, что переход воды в пар требует разрыва всех водородных связей, а переход льда в воду - только малой части их, то это будет всего 0,06/0,39 ~ 15%. Следовательно, в воде сохраняются ~ 85% водородных связей льда. Вместе с тем даже в газообразном состоянии некоторое число молекул воды сохраняет водородные связи. Полностью водородные связи будут разорваны лишь в водяном паре при  $T = 600^\circ C$  [12].

Размеры и форма молекул воды зависят от состояния вращательного, колебательного и электронного возбуждения. Основная структурная единица воды состоит из пластин различного размера, имеющих как положительные заряды ( $H^+$ ), так и отрицательные ( $OH^-$ ). За счет диполей вода адсорбирует и ионы, и электроны. Подобно полимерам, вода имеет аморфную и/или кристаллическую структуру (рис.2).

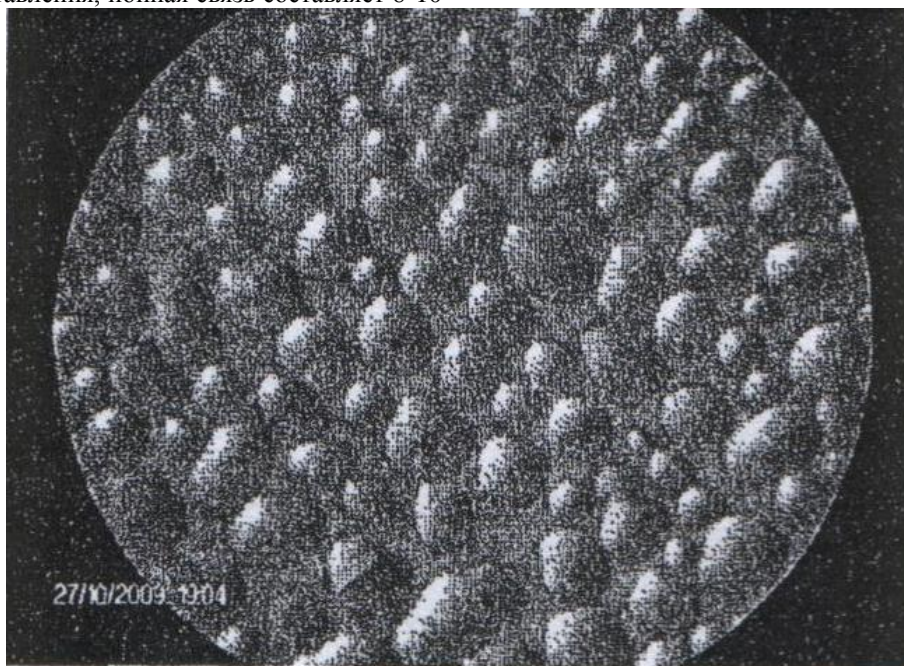


Рис.2. Аморфный тип структуры воды [11].

Любая молекула может быстро сменить окружающие её соседние молекулы. Тепловое движение молекул воды характеризуется периодом колебаний молекулы относительно положения равновесия, равного  $10^{-13}$  с и временем «оседлой жизни», составляющим для чистой воды  $10^{-11}$  с, для льда это время значительно больше –  $10^{-5}$  с. В воде часть водородных связей оказывается разорванной. При своём перемещении по объёму молекула воды может быть окружена 4-5 и даже 6 молекулами. В среднем же молекула воды имеет 4,4 соседей - координационное число молекул воды равно 4,4. Центры масс соприкасающихся молекул находятся на расстоянии 2,94 Å, для льда - 2,76 Å. Концентрация молекул воды –

$3,34 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$ , льда  $-3,1 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$ , масса молекулы воды -  $2,99 \cdot 10^{-23}$  г.

Если допустить, что молекула воды представляет собой «твёрдый шарик» радиусом 1,4 Å, то площадь, занимаемая одной молекулой, будет равна  $6,15 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$ , на 1  $\text{см}^2$  площади вплотную разместились бы  $1,63 \cdot 10^{15}$  молекул. На самом же деле молекулы при «плотной упаковке» занимают только 0,53 часть площади и 0,38 часть объёма общей массы воды. На рис.3 показана капля воды под микроскопом, отчетливо видны кластеры молекул воды и пустоты между ними, атом кислорода расположен между двумя атомами водорода [15].

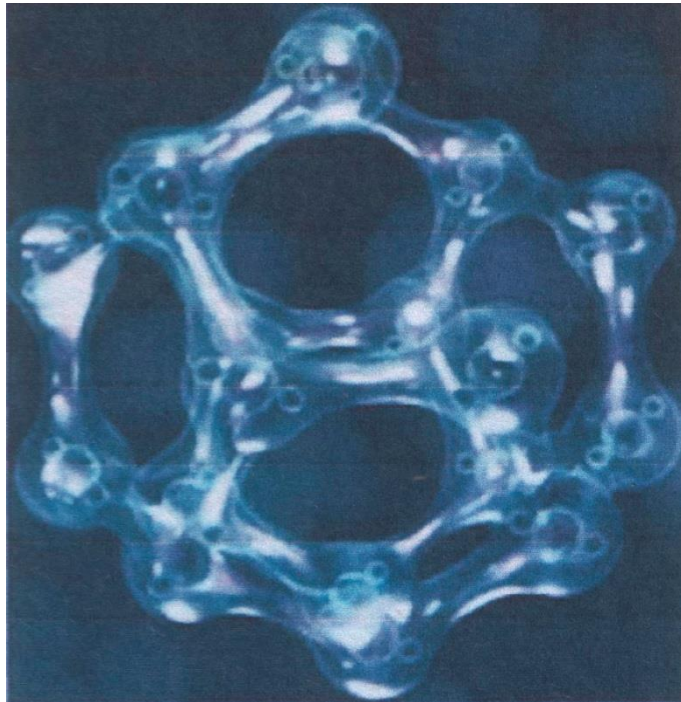


Рисунок 3. Капля воды под микроскопом [15].

Распределение электрического заряда в молекуле воды описывается мультипольными моментами (формула 2[16]). Если  $\rho(\mathbf{r})$  - плотность заряда с координатами  $\mathbf{r}$ , то компоненты дипольного ( $\mu_\alpha$ ), квадрупольного ( $Q_{\alpha\beta}$ ) и октупольного ( $\Omega_{\alpha\beta\gamma}$ ) моментов определяются соответственно как  $\mu_\alpha = \int r_\alpha \rho(\mathbf{r}) d\mathbf{r}$ ;  
 $Q_{\alpha\beta} = \int r_\alpha r_\beta \rho(\mathbf{r}) d\mathbf{r}$ ;  
 $\Omega_{\alpha\beta\gamma} = \int r_\alpha r_\beta r_\gamma \rho(\mathbf{r}) d\mathbf{r}$ ;  $\mathbf{r} (x,y,z)$ ;  $r_1=x$ ;  $r_2=y$ ,  $r_3=z$ .(2)

Экспериментально определяется только дипольный момент для водяного пара, который есть произведение длины диполя  $l$  на заряд его полюса  $e$ :  $\mu_\alpha = le$ . Порядок величины  $\mu_\alpha 10^{-29}$ , так как отрицательный заряд электрона равен  $1,6021892 \cdot 10^{-19}$  Кл (элементарный электрический заряд), а длина диполя – величина того же порядка, что и диаметр молекулы. Для воды  $\mu_\alpha = 6,13 \cdot 10^{-29}$  Кл·м. Остальные компоненты мультипольных моментов рассчитываются методами квантовой механики в декартовой системе координат[17].

Наличие дипольного момента у воды показывает, что молекула воды не обладает центром симметрии, а его величина зависит от состояния воды. Дипольный момент изменяется при возбуждении молекулы в связи с изменением его геометрии. Колебания электронной плотности в пределах каждого атома вызывают колебания электрического (дипольного) момента в воде, что сказывается на появлении притяжения между твердыми и газовыми частицами со знаком (+) и газами со знаком (-) с противоположными по знаку зарядами молекулы воды. Поэтому, за счет диполей вода адсорбирует и положительно и отрицательно заряженные частицы, являясь при этом универсальной поглощающей системой.

Электропроводность химически чистой воды обусловлена частичной диссоциацией молекул воды на ионы  $H^+$  и  $OH^-$ . Диссоциация воды составляет  $10^{-7}$  гмоль/л. Основное значение для электропроводности воды и льда имеют перемещения

ионов  $H^+$ (протонные перескоки). Электропроводность ( $S$ ) химически чистой воды при  $18^\circ C$  равна  $3,8 \cdot 10^{-8} \text{ ом}^{-1}\text{см}^{-1}$ , а электропроводность морской воды около  $510^{-2} \text{ ом}^{-1}\text{см}^{-1}$ . Существенную характеристику свойств вещества дает относительная диэлектрическая проницаемость. У воды она имеет величину в пределах 78-81, у льда 3,26; у водяного пара 1,0075.

Результаты измерений коэффициентов диффузии агрегатных состояний воды показали, что за диффузию молекул во льду ответственен механизм, при котором молекулы водорода движутся как целая молекула или как радикал  $OH^\cdot$ . Эта группа обладает большой подвижностью и является носителем заряда и отрицательной энергии активации этого процесса. Это свидетельствует о том, что во льду имеет место механизм движения водных ионов (протонные перескоки) [12,18].

#### Двойной электрический слой

Избирательные свойства поверхности воды связаны с двойным электрическим слоем (ДЭС) на границе вода-атмосфера или –металл, или –диэлектрик и др. компоненты. ДЭС на границе вода-атмосфера образуется в результате несимметричности молекулы воды, состоящей из двух разнородных атомов. В результате этого, в поверхностном слое жидкости существует слой ориентированных полярных молекул воды, причем молекулы  $H_2O$  на поверхности воды ориентированы отрицательными полюсами наружу, а положительными внутрь. Согласно теории Я. И. Френкеля [19], избирательная адсорбция ионов поверхностью воды объясняется более легким проникновением отрицательных ионов через двойной электрический слой, чем положительных. Это обусловлено тем, что под влиянием электрического поля ориентированных диполей (рис.3) положительные полюсы у молекул воды в капле направлены в сторону пустот. Отрицательно заряженные ионы, попадающие на водную

поверхность, начинают двигаться внутрь капли, а положительные ионы остаются на поверхности и могут испаряться также, как и нейтральные молекулы воды.

В результате различия энергетических затрат на преодоление поверхностного слоя ионами противоположных зарядов по обе стороны от водной поверхности происходит формирование областей с электрическим зарядом противоположного знака, и равного значения, то есть на поверхности возникает ДЭС. Современная теория строения ДЭС, предложенная Штерном, обобщает две существовавшие ранее теории Гельмгольца-Перрена и Гуи-Чепмена [20]. Согласно этой теории в жидкости располагается ряд ионов одного знака, а в прилегающем воздухе или, например, металле часть ионов противоположного знака (противоионов), которые расположены в слое толщиной  $d$  АДС (слой Гельмгольца), а другая часть противоионов образует диффузионный слой (слой Гуи), в котором концентрация ионов изменяется по экспоненциальному закону по мере удаления от поверхности воды. Потенциал в адсорбционном слое убывает линейно, а в диффузионном слое по экспоненциальному закону. За толщину диффузионного слоя принимают расстояние, на котором потенциал убывает в  $e(2.718...)$  раз.

При уменьшении температуры хаотическое движение ионов замедляется, и толщина диффузионного слоя уменьшается вплоть до толщины адсорбционного слоя. Поверхностью воды захватываются только ионы, у которых кинетическая энергия больше значения потенциального барьера  $A$ . На границах такого ДЭС скачок потенциала равен  $-0.26$  В, а толщина слоя равна  $5 \cdot 10^{-9}$  м. Из-за наличия избирательных свойств водной поверхности при одинаковой проводимости положительных и отрицательных ионов, поверхность воды будет заряжаться отрицательно.

Применительно к каплям, Н.С. Шишкиным было показано, что только в случае, когда проводимость положительных ионов примерно в два раза превышает проводимость отрицательных ионов, заряд водной поверхности становится равным нулю [21]. Н.С.Шишкин феноменологически учел избирательные свойства поверхности капель для диффузионного режима электризации. Вместе с тем, обнаруживается тенденция к увеличению расхождений между теорией и экспериментом по мере уменьшения размера частиц.

Заметим, что в целом проблема определения выражений для ДЭС связана с описанием трехмерных случайных блужданий ионов в среде со случайными источниками ионов (акты ионизации) и случайными стоками (аэрозольные частицы, тяжелые ионы, капли и т. п.). Построить такую теоретическую схему чрезвычайно сложно, так что обычно ограничиваются решением более простых задач. В них использованы следующие предположения:

- электризующие частицы не взаимодействуют между собой;
- процесс формирования тока ионов на частицу стационарен;
- имеются только однозарядные ионы.

Применимость первого предположения подтверждена многочисленными оценками. Согласно Н. А. Фуксу [22], время перестройки поля концентрации атмосферных ионов (при изменении заряда электризующейся частицы) меньше среднего времени между актами захвата частицей ионов, то есть справедливо второе предположение.

Влияние двойного электрического слоя на заряженные частицы нейтрализуется при избыточном отрицательном заряде воды, который создает электрическое поле, равное по модулю и противоположное по направлению электрическому полю двойного слоя. В равновесном состоянии скачок потенциала в ДЭС на поверхности капли компенсируется электрическим полем отрицательного заряда капли:

$$\varphi = Q/4\pi r \varepsilon_0, \quad (3)$$

где  $\varphi$  - скачок потенциала в ДЭС;  $\varepsilon_0$  - диэлектрическая проницаемость вакуума,  $r$  - радиус капли (м).

Отсюда, значение равновесного заряда  $Q$  капли равно (Кл):

$$Q = 4\pi r \varepsilon_0 \varphi \quad (4)$$

На ионы действует электростатическая сила,  $F$ :

$$F = Qq/4\pi r^2 \varepsilon_0, \quad (5)$$

При этом напряженность электрического поля равна:

$$E = Q/4\pi r^2 \varepsilon_0, \quad (6)$$

а потенциальная энергия ( $W$ ) положительно заряженного иона:

$$W = Qq/4\pi r \varepsilon_0 \quad (7)$$

В соответствии с законом Больцмана, распределение ионов в поле вокруг капли будет описываться формулой:

$$N_{\pm}(r) = N_{\pm}(\infty) \exp(-Qq_{\pm}/4\pi r \varepsilon_0 kT), \quad (8)$$

где  $N_{\pm}(r)$  - концентрация ионов у поверхности капли;  $N_{\pm}(\infty)$  - концентрация ионов на удалении от капли.

На основании приведенных выражений можно получить скорость изменения электрического заряда капли [21]:

$$dQ/dt = q_+ \pi r^2 V_+ N_+(\infty) \exp(-Qq_+/4\pi r \varepsilon_0 kT) \exp(-A/kT) + q_- \pi r^2 V_- N_-(\infty) \exp(-Qq_-/4\pi r \varepsilon_0 kT), \quad (9)$$

где  $V_{\pm}$  - средняя тепловая скорость движения ионов.

Выражение для равновесного заряда капли  $q_+ = q_-$  может быть получено при  $dQ/dt = 0$ :

$$Q = 2\pi r \varepsilon_0 kT / q_+ \{ \ln(V_+ N_+(\infty) / V_- N_-(\infty)) - A/kT \} \quad (10)$$

По формуле (10) теоретически определяются предельные заряды капель: максимальный положительный заряд  $Q_{\max}^+(r) = 4\pi r^2 \varepsilon_0 2 \cdot 10^{-10} \text{ Кл}$  и максимальный отрицательный  $Q_{\max}^- = 4\pi r^2 \varepsilon_0 10^{-9} \text{ Кл}$ . Если величина  $Q$  превосходит максимальный заряд капли, то энергия электростатического поля заряда капли будет больше ее поверхностной энергии. В этом случае происходит дробление капли из-за близости одноименных зарядов

При поглощении ионов и электронов, было показано, что при данной напряженности электрического поля и при данном размере частицы существует максимально возможный заряд этой частицы. Для капель различных размеров возможные значения предельных зарядов и пределы Рэлея приведены в табл. 1.

Таблица 1.

**Предельное число элементарных зарядов (e) на капле воды [23].**

Предел	Диаметр частиц, мкм		
	0,01	1,0	100
Ионный	$3,47 \cdot 10^2$	$3,47 \cdot 10^6$	$3,47 \cdot 10^{10}$
Электронный	$1,72 \cdot 10$	$1,72 \cdot 10^5$	$1,72 \cdot 10^9$
Предел Рэлея	$4,45 \cdot 10$	$4,45 \cdot 10^4$	$4,45 \cdot 10^7$

Максимальное количество ионов и электронов для капли диаметром 100 мкм составляет  $3,47 \cdot 10^{10}$  и  $1,72 \cdot 10^9$  соответственно. Для сравнения, на дождевой капле диаметром 10 мм в грозу находится около  $4 \cdot 10^8$  элементарных зарядов, что составляет 1% предельного заряда [26]. У испаряющихся капель предел Рэлея понижается с уменьшением размера капли. Поэтому, у капель, которые могут испаряться, диаметр будет уменьшаться пока не составит 0,01 мкм. Происходит это в силу того, что на поглощение каплей ионов (электронов) накладывається дополнительное ограничение, получившее название «предел Рэлея» [23], по имени ученого, открывшего этот эффект в 1882г. [24]. Это позволило объяснить образование осадков из теплых облаков и раскрыть механизм разделения положительных и отрицательных зарядов в облаке [25]. Известно, что заряженная капля будет испаряться до тех пор, пока внешняя сила электрического поля на поверхности капли не превысит внутреннюю силу ее поверхностного натяжения. Тогда, из-за близости зарядов одного знака капля разлетится на части, образуя несколько более мелких капель.

#### **Баллоэлектрический эффект**

Впервые электризация жидкости при дроблении была замечена у водопадов Швейцарии в 1786 году [18]. С 1913 года явление получило название баллоэлектрического эффекта. Наиболее значительный эффект электризации воздуха наблюдается у самых больших водопадов мира – у водопада Игуассу на границе Бразилии и Аргентины и у водопада Виктория на реке Замбези в Африке [18]. У водопада Виктория за счет дробления воды возникает электрическое поле напряженностью до 25 кВ/м. С удалением от водосброса это поле уменьшается, и на расстоянии около 1,6 км по горизонтали и 0,5 км по вертикали электрическое поле водопада переходит в нормальное электрическое поле земной поверхности. При дроблении пресной воды в воздух переходит отрицательный заряд. В результате чего, в воздухе у водопадов количество отрицательных ионов превышает количество положительных.

У небольшого водопада Учан-Су в Крыму отношение отрицательных ионов к количеству положительных равно 6,2, а у водопада Ак-Су в Средней

Азии оно составляет около 4. У берегов морей воздух вместо отрицательного заряда приобретает положительный вследствие того, что здесь происходит разбрызгивание не чистой, а соленой воды. На поверхности морей и океанов разбрызгивание воды происходит при скорости ветра более 10 м/сек, когда на волнах появляются гребешки пены. Отношение положительных зарядов к отрицательным в воздухе над морем при бурном море достигает 2,04; при зыби оно близко к 1,48 [18].

Наибольшая электризация воздуха наблюдается при разбрызгивании чистой воды. С увеличением концентрации примесей, электризация уменьшается и далее меняет знак (в естественных условиях, например, у берегов морей и над морской поверхностью). Выход электричества различен при разбрызгивании капель разной величины. Для капли диаметром 4,4 мм при скорости падения 6,8 м/с высвобождается заряд  $0,89 \cdot 10^{-12} \text{ К/см}^3$ , в то время, как для капли диаметром 0,4 мм при скорости падения 4м/сек отдача заряда составляет  $10^{-12} \text{ К/см}^3$ . При наибольшей интенсивности разбрызгивания наблюдается выход заряда порядка  $10^{-10} \text{ Кл}$  на каплю.

Баллоэлектрический эффект наблюдается только у дипольных жидкостей. Основной причиной эффекта является наличие на поверхности жидкости слоя ориентированных диполей, которые создают двойной электрический слой внутри жидкости. Электрическое поле диполей простирается на некоторую глубину внутрь жидкости и концентрирует вблизи ее границ свободные заряды [12].

Так как при разбрызгивании жидкостей образуются пузыри, в тонкой пленке которых заряд поверхности жидкости уже не будет скомпенсирован зарядом внутренних слоев, в воздух вместе с мельчайшими частицами жидкости уходит и избыточный заряд тонкой пленки пузыря. При адсорбции поверхностью жидкости свободных зарядов из ее внутренних слоев происходит уменьшение эффективной величины электрического поля внутреннего двойного электрического слоя, и затем изменение его знака. Этим объясняется изменение знака электризации при дроблении дипольных жидкостей с

добавлением к ним примесей [18]. Теория электризации при разбрызгивании капель разрабатывалась Дж. Мейсоном и др. исследователями [26].

### **Генерация электрической энергии трибоэлектрическим эффектом**

Трибоэлектричество [13, с.768] - это еще один источник возобновляемой энергии. Первые способы получения электрических зарядов и электростатических полей (трибоэлектричество (Т.)) заключались в трении разнородных материалов (смолы, стекла, меха и др.). При трении двух одинаковых тел положительный заряд получает более плотное из них. Металлы при трении о диэлектрик электризуются как отрицательно, так и положительно. При контакте металла с диэлектриком Т. возникает за счет перехода электронов из металла в диэлектрик. Т. жидкостей связано с появлением ДЭС на границах жидкость – твердое тело. Электризация двух жидких диэлектриков осуществляется по правилу Коэна, т.е. жидкость с большей электрической постоянной заряжается положительно, с меньшей отрицательно [13, с.768]. Считается, что Т. приводит к нежелательному накоплению электричества в диэлектриках. В бытовых условиях Т. проявляется в статических зарядах, которые не принимают во внимание. В связи с незначительным количеством электричества с ним предпочитают не связываться, а получать энергию от предсказуемых и надежных индукционных генераторов, вращаемых силой пара, воды, ветра или других ВИЭ.

Напряжения и заряды при первых случаях получения Т. были крайне малы. В дальнейшем для получения высоких напряжений были созданы электростатические генераторы с вращающимися дисками, на основе электростатического наведения (индуцирования). Такими устройствами являлись электростатические генераторы высокого напряжения. Наиболее известным из них является созданный в 1931г. американским физиком Р. Ван де Графом генератор, названный его именем [27].

В последние годы в связи с быстрыми темпами развития электроники усилились попытки найти способы производства электричества, используя малые энергетические ресурсы. В результате этих усилий раскрылись потенциальные возможности использования трибоэлектрического эффекта в автономной выработке электроэнергии в небольших количествах, достаточных для носимой электроники. В настоящее время существует большое количество моделей генераторов [27,28,29,30 и др.], в том числе наногенераторов на основе трибоэлектрического эффекта. При контактной электризации (трение, сгибание, спрессовывание) двух материалов (электродов) из ряда Фарадея [13, с.768] даже при ходьбе или прикосновении происходит генерация положительных и отрицательных зарядов. При подключении между двумя этими электродами электрической нагрузки будет создаваться небольшое количество переменного тока, достаточное для подзарядки носимой электроники. Энергия, получаемая этим способом незначительна, но имеет многочисленные преимущества во многих аспектах

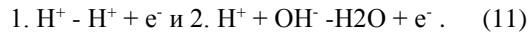
жизнедеятельности человека при отсутствии стационарных источников электропитания [31].

Корейские инженеры разработали трибоэлектрический генератор с флаттер-приводом, то есть прибор, позволяющий получать электричество из вибрации. Вибрации создаются с помощью гибких флагов из проводящей ткани, прикрепленной одним концом к жесткой пластине. Разница потенциалов создается между контактирующими плоскостями в результате колебаний флага на ветру. На жесткой поверхности формируется избыток электронов, а на другой – недостаток. Разность потенциалов на поверхностях компенсируется за счет внешней цепи, а поверхности, соприкасаясь друг с другом начинают новый период трения, т.е. получения электричества[32]. При скорости ветра в 15м/с корейский генератор вырабатывает 200В, при силе тока 50 миллиампер и частоте 158 герц. Средняя мощность такого генератора составляет ~ 0,86 милливольт. Подобные источники энергии могут использоваться для уличного освещения в районах с устойчивым ветром или горной местности.

### **Механизм образования электрического тока в диэлектриках**

Из десяти главных проблем человечества в следующие 50 лет и далее на первом месте стоит электроэнергия и вода [2]. Освоение источников недорогой, бесперебойно поступающей энергии позволяет иметь в достатке чистую воду. Обладая запасами воды и энергии можно решать и другие проблемы народонаселения и питания, а также освоения космического пространства. Наиболее успешным развитием энергетики на первом этапе может быть сочетание ВИЭ с природным газом и освоение нетрадиционной энергетики (НВИЭ).

На возможность использования проводящих ток жидкостей- диэлектриков, движущихся в магнитном поле, для генерации электрических токов указал в 1831г. М. Фарадей [13, с.379]. Однако, использование воды как диэлектрика для индукции электрического тока оказалось безуспешным, согласно его опытам [33]. Тем не менее М. Фарадей, Д.К. Максвелл [34] и др. сделали величайшие открытия для человечества, которые явились основой для проведения дальнейших исследований и открытий. В жидкостях другие условия распространения электрического тока в отличие от металлов, так как он взаимодействует с молекулами воды. Считается, что в диэлектриках отсутствуют заряды, что не относится к дипольным жидкостям. Поэтому целью исследований для получения электрического тока из воды является создание таких условий, при которых элементы молекулы воды могли бы начать свое движение и возник процесс образования электрического тока. В работе [35] экспериментально показано образование в водной среде гидротированных электронов при тепловом электромагнитном воздействии в температурном диапазоне от 10<sup>0</sup>С до 80<sup>0</sup>С и влияние на этот процесс дейтерированной воды (D<sub>2</sub>O). В результате разрыва связи в молекуле воды происходит образование H<sup>+</sup> и OH<sup>-</sup> радикалов. Радикал H<sup>+</sup> приводит к образованию гидратированного электрона двумя способами:



Ситуация кардинальным образом меняется, если процесс сопровождается внешними воздействиями на воду, такими как индукция магнитного поля или турбулентное перемешивание при вибрационном воздействии.

Для генерации электрического тока из воды сделаны лишь первые шаги. Попытки использовать баллоэлектрический эффект предпринимались практически с времени его открытия. Наиболее значимым был генератор электростатического напряжения, изобретенный У. Томсоном (лорд Кельвин) в 1867г., известный под его именем - это капельница Кельвина [36]. Капельница обеспечивает получение напряжения порядка 10 кВ. Устройство представляет собой пару металлических банок, каждая из которых связана с металлическим кольцом – индуктором, подвешенным над другой банкой. Через индукторы из верхнего сосуда в банки вытекают струйки воды, которые разделяются на капли перед индуктором. Установка не требует стартовой зарядки банок. В результате электростатической индукции металлические кольца наводят в банках с водой противоположные заряды. Установка остается работоспособной, пока банки не заполнятся водой. В принципе установка может работать автономно при любых скоростях водных источников, способных наполнять водой верхний сосуд и установки слива воды при заполнении банок. И хотя достигнутые результаты пока весьма скромные, исследования НВИЭ продолжают многими учеными.

Южнокорейские исследователи с физического факультета Пусанского национального университета разработали технологию для освещения электрической энергией городской квартиры шестью светодиодными лампочками от одной капли воды [37]. Согласно этой технологии, каплю воды помещают между двумя электропроводящими металлическими пластинами. Изменяющееся расстояние между ними заряжает и разряжает специальные двухслойные электрические конденсаторы, в результате возникает электрический ток, достаточный для обеспечения работы нескольких светодиодных лампочек. По мнению южнокорейских ученых, в скором времени энергия воды будет освещать не только отдельные дома, но и целые улицы и города. Аналогичный способ выработки электричества из капли дождя разработали ученые из городского университета Гонконга. Устройство может кратковременно генерировать 140В из одной капли дождя [38].

Решение стоящих проблем по использованию возобновляемых источников электрической энергии зависит прежде всего от самого человечества. Как сказал английский ученый лорд Кельвин, проблема сводится к следующему: «можем ли мы сконструировать соответствующую механическую модель». В настоящее время, очевидно, речь идет о том, что сможем ли мы использовать предоставляемые природой возобновляемые источники энергии, в первую очередь солнечную радиацию и воду,

для автономных электрогенераторов на нашей и ближайших планетах Солнечной системы.

### Выводы

1. Водные ресурсы, занимающие ~ 71% земной поверхности, являются возобновляемыми источниками энергии на ближайшие несколько миллиардов лет.

2. Рассмотрено строение воды как жидкого диэлектрика. Нейтральная молекула воды, как диполь, имеет положительные и отрицательные заряды  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$ . Электрический заряд одного моля воды составляет  $\sim 10^4$  Кл/моль. Однако вода, как сложная система различных молекул, ионов и ассоциатов, еще недостаточно изучена и исследована.

3. Одним из свойств воды является двойной электрический слой на границе вода- атмосфера или вода- металл, или другие компоненты. При разбрызгивании воды наблюдается баллоэлектрический эффект, создающий электрическое поле напряженностью до 25 кВ/м.

4. Структура воды позволяет получать электрический ток из капель незначительной мощности, но достаточной для подзарядки носимой электроники, в результате использования баллоэлектрического и трибоэлектрического эффектов.

5. При падении капель воды на твердую поверхность происходит электризация поверхности в результате трибоэлектрического эффекта. Разработанные устройства могут кратковременно генерировать 140-200В из одной капли дождя.

6. Увеличение мощности электрического ионного тока из воды возможно при сочетании использования двойного электрического слоя с трибоэлектрическим эффектом.

### References

1. Filippov S. (2018) New Technological Revolution and Energy Requirements. Foresight and STI Governance, vol. 12, No 4, pp. 20–33. DOI: 10.17323/2500-2597.2018.4.20.33p.
2. Kirillov P. L., Bogoslavskaya G. P. Energetika dlya vsekh. M.: Izdat., 2018 – 160p.
3. Antonov N.V., Evdokimov M.Yu., Shilin V.A. Renewable Energy Abroad and in the Russian Regions. Geographical Environment and Living Systems, 2020, No. 1, pp.85-98.
4. Egorov-Kuz'min A.S., Chaikina V.M. Istochnik elektricheskoi energii. Patent RF № 94042293. - МПК: N02K 57/00 (2000.01). – Publication date 27.01.2005.
5. Electronic resource. Handbook of Space Astronomy and Astrophysics. <http://ads.harvard.edu/books/hjaa/toc.html>.
6. Mitrofanov I.G., Sanin A.B., Litvak M.L. Voda v polyarnykh oblastiakh Luny// DAN, 2016, vol. 466, No.6. pp. 660-663.
7. Evdokimov R.A., Tushenko V. Yu. Distantsionnoe energosnabzhenie potrebiteli na poverkhnosti Luny. Izvestiya RAN. Energetika No. 5, 2019, September-October, pp.3-19.
8. Luna – shag k tekhnologii osvoeniya solnechnoi sistemy/ Pod nauchnoi red. Legostova V.P., i Lopaty V.A.// Moscow, publ. Energiya 2011, 584p.



9. TEK Rossii. Vozobnovlyaemyi istochnik energii, No.3, March 2020, p.11.
10. Electronic resource. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Led>. Date 28.11.2020.
11. Trushkov Yu.Yu. et al. Sravnitel'nyi analiz dannykh sovremennoi nauki o prirode vody. Collection of research papers ZAO Ventmontazh, Perm', 2010, pp. 160-174.
12. Zatsepina G.N. Fizicheskie svoistva i struktura vody. Moscow University Publishing, 1987, 166 p.
13. Fizicheskii entsiklopedicheskii slovar'. Moscow, Sov. entsiklopediya, 1983, 928p.
14. Shcherbakov I.A. Vliyanie vneshnikh vozdeistvii na svoistva vodnykh rastvorov. Proceedings of the 3rd all-Russia Conference Water Solutions Physics Fizika vodnykh rastvorov». Online. Moscow, December 14-15, 2020, p.5.
15. Emoto Masaru. Poslanie vody. Minsk, Popurri Publ. 2006, 148p.
16. Eizenberg D., Kautsman V. Struktura i svoistva vody. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1975, 279p.
17. Tomilin K.A. Fundamental'nye fizicheskie postoyannye v istoricheskom i metodologicheskom aspektakh. Moscow, Fizmatlit Publ. 2006, 368p.
18. Arabadzhi V. I. Zagadki prostoi vody. publ. Znanie, Moscow, 1973, 92p.
19. Frenkel' Ya.I. Teoriya yavlenii atmosfernogo elektrichestva, Leningrad –Moscow, GITTL, 1949, 155p.
20. Salem R.R. Teoriya dvojnogo sloya. Moscow, Fizmatlit Publ. 2003, 104p.
21. Shishkin N.S. Issledovaniya zaryazheniya kapel'. A collection of scientific papers of MGO, 1968, Issue 224, pp. 78-86.
22. Fuks N.A. Mekhanika aerozolei. Moscow, Akademizdanie publ. 1955, 353p.
23. Raist P. Aerozoli. Translation from English. Moscow, Mir publ.1987, 278p.
24. Lord Rayleigh (Strutt J.W.). On the equilibrium of liquid conducting masses charged with Electricity, Philosophical Magazine, 1882, XIV, pp. 184-186.
25. Vladimir Kozlov and Nikolai Korshun. Thermal Ionization Method of Modifying the Atmospheric Processes, Journal of Earth Science And Engineering, No.4, 2014, pp. 558-571. ISSN 2159-581X.
26. Meison B. Dzh. Fizika oblakov. Translated from English, Leningrad, Gidrometeoizdat publ. 1961, 541p.
27. Elektrostaticheskie generatory – ustroystvo, printsip deistviya i primenen. <https://ru.wikipedia.org/elektrostaticheskie-generatory/html>. Date 31.10.2020.
28. Electronic resource. <https://naukatehnika.com/triboelektricheskie-nanogeneratory-energiya-iz-kapli-vody.html>. Date 23.11.2020.
29. Krus Khans, Gerkhart Lutts Kristian, Dzhonson Mark Tomas. Sistema generirovaniya ili preobrazovaniya moshchnosti. Patent RU № 2719361 S2. – publication date 17.04.2020.
30. Rybnikov Yu.S. Triboelektricheskii generator dlya zashchity metallov truboprovodov. Patent na izobret. RU № 2015 134339 A. – publication date 28.03.2019.
31. Kazak A.N., Sukorkin A.A. Triboelektricheskii effekt kak tekhnologiya avtonomnoi vyrabotki elektroenergii. Proceedings of II Yalta Conference «Distantionnye obrazovatel'nye tekhnologii», Yalta, 18-22 September 2017, Arial publ., pp.223-225.
32. Electronic resource. Koreiskie uchenye nauchilis' dobyvat' elektrichestvo iz vibratsii. <https://lenta.ru/news/2014/09/23/generator/> Date 20.11.2020.
33. Faraday M. Eksperimental'nye issledovaniya po elektrichestvu. Translated from English. Moscow, Akademizdat publ. 1947, pp. 114-140.
34. Maxwell J. C. Izbrannye sochineniya po teorii elektromagnitnogo polya. Translated from English Moscow, Gostekhizdat publ.1952.
35. Bruskov V.I. Obrazovanie v vodnoi srede gidrotirovannykh elektronov pri teplovom elektromagnitnom vozdeistvii. Sbornik tezisov dokladov tret'ei Vserossiiskoi konferentsii Fizika vodnykh rastvorov. Online. Moscow 14-15 December, 2020, Internet publ. p.10.
36. Electronic resource. [https://ru. Wikipedia>wiki> Kelvin Water Dropper](https://ru.wikipedia/wiki/Kelvin_Water_Dropper). date 24.12.2020.
37. Electronic resource. [https://ru. school-scince/ru/3/11/3204](https://ru.school-scince/ru/3/11/3204). Generatsiya elektrichestva iz kapel' vody. Date 25.10.2020.
38. Electronic resource. Uchenye pridumali sposob vyrabotki elektrichestva iz dozhdy. [https://ru. shazoo.ru/2020/02/12/90544](https://ru.shazoo.ru/2020/02/12/90544). date 25.10.2020.