

ЭЛЕКТРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ВОДНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТАХ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭКОЛОГИИ

*Агрофизический научно-исследовательский институт РАСХН,
Гражданский пр.14, г. Санкт-Петербург, 195220, Россия*

1. Введение

Проблемы электромагнитной экологии затрагивают два взаимосвязанных аспекта. Первый – как влияют естественные электромагнитные поля на развитие различных природных явлений, в том числе, и на живые системы. Для этой области знаний особый интерес представляет изучение электромагнитных эффектов, возникающих в живых системах при их функционировании [1–2]. С другой стороны, развитие электромагнитного загрязнения планеты [3–4] обуславливает необходимость изучения механизмов влияния на живые системы таких полей, разработки методов прогноза их воздействий. С этой точки зрения, экспериментальное изучение роли электрогидродинамических (ЭГД) явлений в водных средах представляет особый интерес.

Электрогидродинамические эффекты различной природы в жидких диэлектриках неоднократно рассматривались [5–7]. Что же касается водных электролитов, то подобные исследования обычно относят к области физической химии (электрокинетические и другие явления) [6]. Однако выполненные ранее исследования [8–10] показывают, что эти эффекты не ограничиваются процессами электроосмоса, спектр явлений значительно шире, а в ряде случаев принципиально отличен от ЭГД-эффектов в жидких диэлектриках. ЭГД-эффекты в водных электролитах могут возникать при значительно меньших напряженностях постоянных и низкочастотных электрических полей. Вместе с тем наличие атмосферных электрических полей различной природы обуславливает интерес к проведению лабораторных исследований. Характер процессов, происходящих в водных системах в области межфазных границ существенно различен в зависимости от электропроводности жидкости, что относится как к процессам движения, ее диспергации, так и к характеру возникающих электрических разрядов в газах. Так, наличие водной среды существенно изменяет процесс разряда, в частности коронного разряда [11–13]. Будут рассмотрены особенности протекания процессов диспергирования и коалесценции в струях воды и растворов и их каплях в электрических полях. Уделено внимание и перспективам применения полученных результатов к решению некоторых вопросов электромагнитной экологии.

2. Методика

На рис.1 представлена установка, которая позволила одновременно изучать кинетику роста капель, их диспергирование, коалесценцию и возникающее при разрядах свечение. При этом варьировалась величина подаваемого напряжения на электроды, его полярность. Вместе с тем подачу жидкости можно было осуществлять в верхний или нижний электрод-сопло. Опыты проводились по системе игла-игла, что позволило создавать большие значения неоднородных электрических полей в рабочем объеме при относительно невысоких значениях подаваемого на один из электродов потенциала U , при заземлении второго. Высоковольтное напряжение подавалось от стабилизированного источника в пределах 0–30 кВ. Капля воды являлась, по существу, жидким электродом, что позволило при ее деформации существенно увеличивать напряженность поля E вблизи капли. Потенциал измерялся киловольтметром С-96. Регистрация формы и структуры капли осуществлялась на свету с помощью горизонтального микроскопа МГ с использованием осветителя ОИ-19. Для регистрации применен фотоаппарат “Зенит В” с объективом “Индустар-250-2” с переходными кольцами. Фотопленка, “Фото-250”. Расстояние от объектива до электродов 20 см. При фотографировании установка помещалась в светонепроницаемый экран. Опыты проводились на дистиллированной и

водопроводной воде, значительно различающихся по электропроводности. Так, электропроводность дистиллята $\sigma_d = 5,6 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$, а водопроводной $\sigma_b = 1,02 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$.

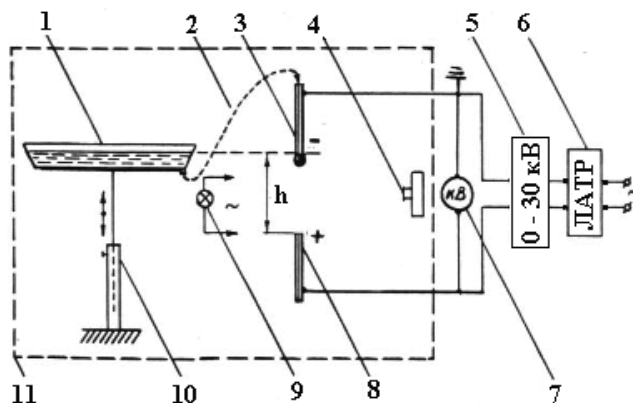


Рис.1. Схема к установке для изучения воздействия высоковольтного электрического поля на капли и струи воды и водных растворов.

1 – сосуд с жидкостью; 2 – соединительный шланг с зажимом для подачи воды в электрод; 3 – заземленный цилиндрический электрод; 4 – фотоаппарат “Зенит” с переходными кольцами; 5 – источник высокого напряжения; 6 – автотрансформатор; 7 – киловольтметр С-96; 8 – цилиндрический электрод, на который подан высокий положительный потенциал; 9 – осветитель ОИ-19; 10 – устройство регулирования напора жидкости; 11 – светонепроницаемый экран, $h=17 \text{ мм}$. Внутренний диаметр цилиндрических электродов $0,84 \text{ мм}$, наружный $1,44 \text{ мм}$.

При увеличении потенциала U фиксировался момент начала истечения капли, до этого неподвижной. Перед началом эксперимента подбиралась величина напора так, что в отсутствие электрического поля поток из капли отсутствовал. Определялся и объем жидкости после начала потока. Эксперименты неоднократно повторялись на свету и в темноте для определения пространственного расположения свечения. В качестве электродов использованы две полых медицинских иглы, сточенные по поверхности, расположенные одна под другой (рис. 1). Расстояние между электродами $h=17 \text{ мм}$. Их внутренний диаметр $0,84 \text{ мм}$, внешний $1,44 \text{ мм}$. На этой же установке изучался и характер поведения тонких струй воды в электрических полях. В качестве электродов использовались диэлектрические диски, покрытые тонким слоем медной фольги с отверстиями по центру, диаметром 135 мм . К верхнему электроду подводился потенциал U , нижний заземлялся. Расстояние между электродами $h=25 \text{ см}$. Диаметр стеклянного сопла $0,6 \text{ мм}$. Для изучения поведения струй при малых межэлектродных расстояниях и малом напоре применены электроды-диски меньшего диаметра ($9,4 \text{ см}$), посеребренные, без отверстий. Межэлектродное расстояние $h=2,4 \text{ см}$, диаметр сопла $0,26 \text{ мм}$ (рис. 2). Отметим, что общим элементом методики служит использование капилляров стеклянных или металлических определяющих размеры капель и струй (диаметры капилляров менее 1 мм). Кроме дистиллированной и водопроводной воды использовались водные растворы NaCl концентрацией от 1 до 5% . Более подробно методика описана в [10].

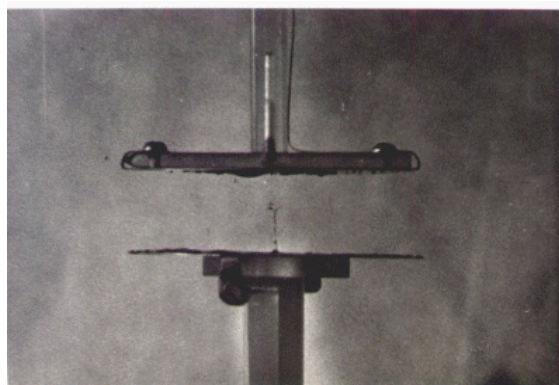


Рис. 2. Фотография установки для изучения воздействия на струю воды при малом напоре и межэлектродном расстоянии $h=2,4 \text{ см}$. Диаметр электродов-дисков (без отверстий) $9,4 \text{ см}$. Диаметр стеклянного сопла $0,26 \text{ мм}$.

3. Результаты

Капли. При увеличении потенциала U на верхнем электроде в случае дистиллята капля, несмотря на деформацию, оставалась неподвижной до $U=7$ кВ. При $U \geq 7$ кВ начиналось истечение жидкости из капли, причем объем ее W с ростом U увеличивался (рис. 3). В этом случае сил поверхностного натяжения становилось недостаточно для удержания капли. В случае же отсутствия жидкости в электроде при $U=14-15$ кВ начинался коронный разряд вблизи электрода, причем площадь засветки очень мала. До значения $U=30$ кВ искрового разряда не наблюдалось. В случае же заполнения электродов водой возникал интенсивный коронный разряд при значительно меньших значениях потенциала U . Цвет свечения варьировал от белоголубого до фиолетового. Свечение было аналогично огням Святого Эльма [11–12]. Значительный вклад в засветку фотопленки, по-видимому, вносит ультрафиолетовая часть свечения. Отмечался интенсивный запах озона. В случае дистиллята свечение вблизи электродов начиналось при $U=6$ кВ, а при водопроводной воде при $U=10$ кВ. В обоих случаях с ростом потенциала наблюдался искровой пробой межэлектродного промежутка (рис. 4, а, б). Структура свечения при пробое различна: в случае водопроводной воды (рис. 4, а) она носит стримерный характер, напоминая характерный разряд молнии, а в случае дистиллята – имеет равномерный пространственно-локализованный характер (рис. 4, б). Длительность съемки в темноте подбирали опытным путем (60 с).

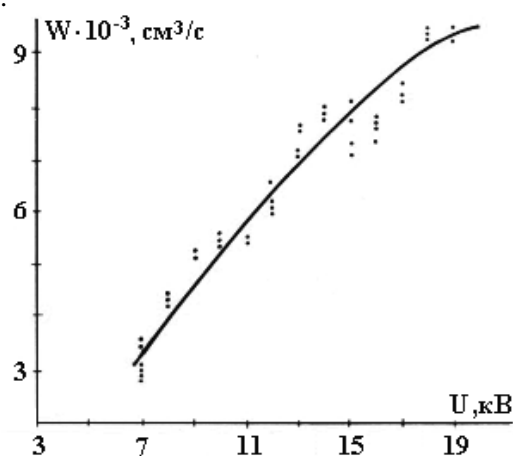


Рис. 3. Зависимость количества жидкости, вытекающей из капилляра W от потенциала U (дистиллят). $W = f(U)$.

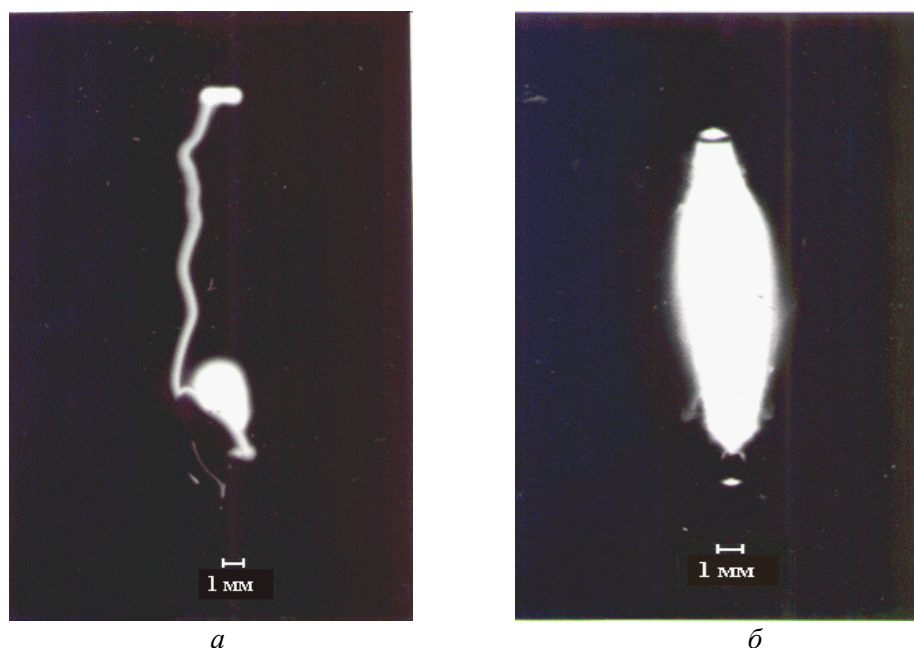
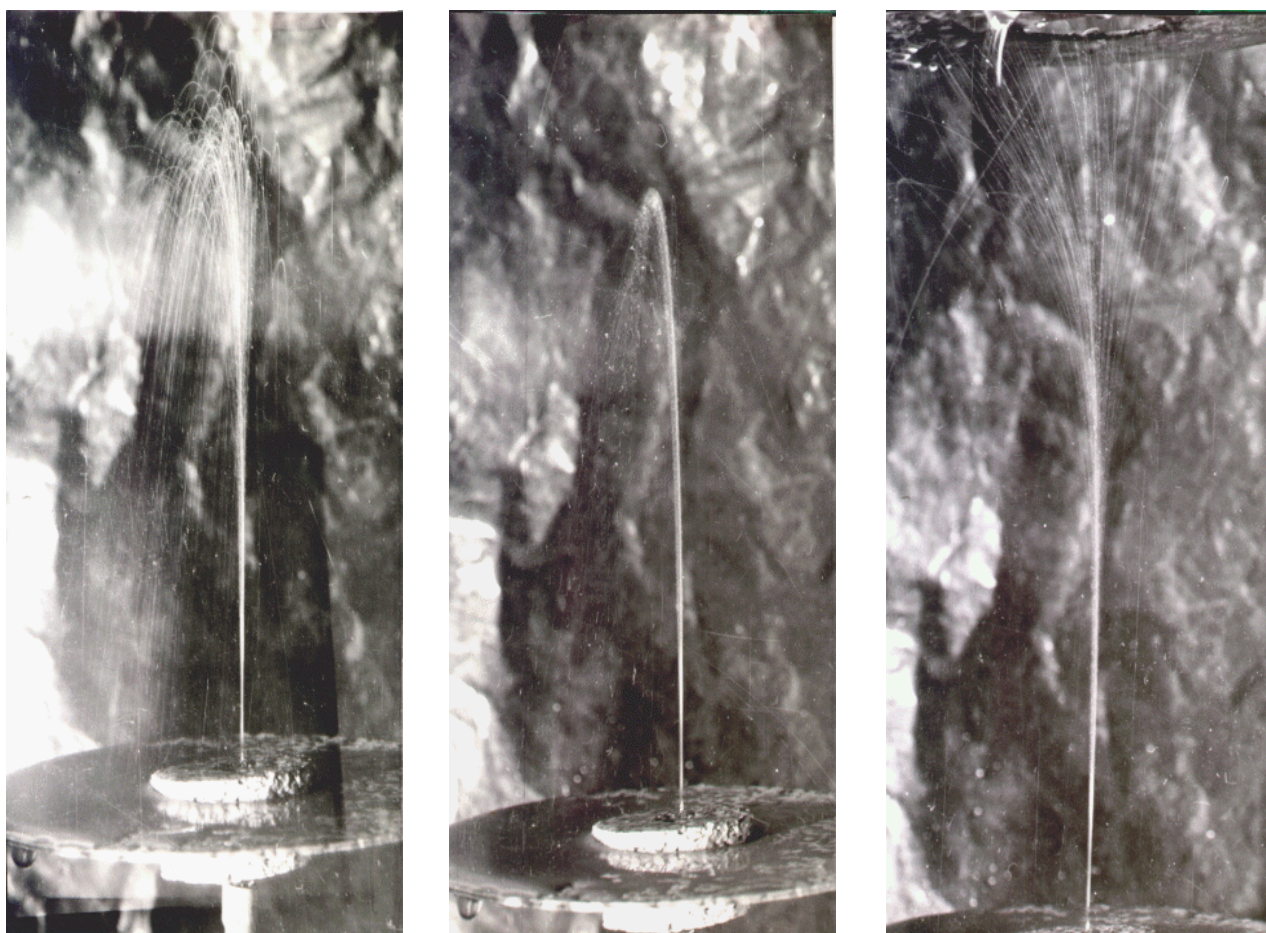


Рис. 4. Фотография межэлектродного промежутка в условиях пробоя. $U=4$ кВ. Заполнен водой нижний электрод, на него подан высокий потенциал. Выдержка 60 с. Съемка в темноте (Схема по рис. 1): а – водопроводная вода; б – дистиллят.

Таким образом, как отмечается и в [11–13] наличие капель и паров снижает порог разряда и изменяет структуру свечения, по-видимому, из-за снижения пробивного промежутка.

Струи. При разбрызгивании тонких струй воды при возрастании потенциала на верхнем электроде наблюдался малоизученный, но неоднократно наблюдаемый ранее эффект укрупнения капель, стабилизация струи до полного прекращения ее разбрызгивания [8–10]. Так, в наших экспериментах на вершине струи формируется макрокапля, диаметр которой превышает диаметр исходной струи. На рис. 5, а-в представлены структуры струй воды при последовательном увеличении потенциала U . На рис. 6 приведен пример образования подобной макрокапли по схеме рис. 2. В этом случае при $U=4$ кВ диаметр капли составлял 1,8 мм, то есть почти в 6 раз превышал диаметр сопла (0,26 мм). В природных условиях хорошо известен эффект укрупнения капель дождя при грозах [14]. Отметим еще один интересный эффект, наблюдаемый только для воды и ее растворов. При потенциале U (в нашем случае при $U \leq 1$ кВ), рис. 5, б наблюдались автоколебания струи, то есть вариация во времени высоты струи h_c , $h_c > h$, где h – расстояние между электродами. Одновременно с ростом диаметра капли растет ее масса (вес), струя “проседает”, капля стекает и струя поднимается вновь. На рис. 7 приведены зависимости частот автоколебаний f_0 , рассчитанные по экспериментальным данным для периодов T при различных значениях потенциала и концентраций. Можно видеть общий характер зависимости $f_0 = F(U, c)$ для различных концентраций c , то есть четко выраженный максимум, затем резкий спад. Формирование струи с каплей на вершине начинается уже при $U=0,5$ кВ, что соответствует $E \approx 20$ В/см.

После периода роста частоты колебаний начинается хаотическое движение с переходом при больших значениях U в характерное и для жидких диэлектриков явление дробления капель. При наших условиях периоды автоколебаний составляли $T=(0,6-2)$ с. Диапазон частот f_0 виден из рис. 7.



а

б

в

Рис. 5. Фотографии структуры струи при увеличении потенциала U на верхнем электроде. Дистиллят. Межелектродное расстояние $h=250$ мм. Диаметр дисков-электродов 135 мм U , кВ: а–0; б–0,5; в–9.

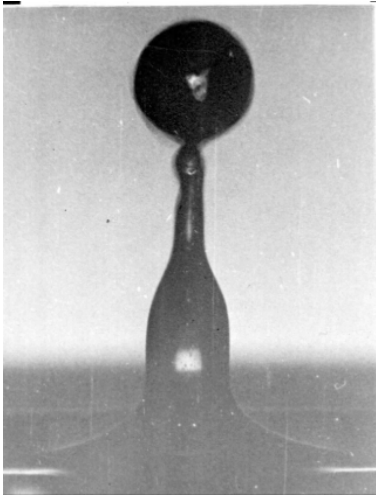


Рис. 6. Фотография струи воды (дистиллята) при малом напоре (по схеме рис. 2). На верхнем электроде 4 кВ. Диаметр капли 1,78 мм, сопла – 0,26 мм. Выдержка 1/250 с.

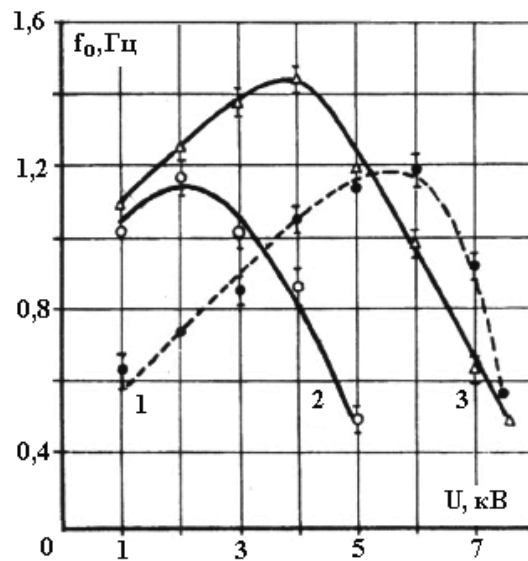


Рис. 7. Зависимость частоты автоколебаний f_0 от высоты струй h_c воды и растворов от величины высоковольтного потенциала на верхнем электроде.
1 – дистиллят, 2 – водопроводная вода, 3 – 5% раствор NaCl.

4. Обсуждение

В общем случае на единицу объема жидкости в постоянном электрическом поле напряженностью \vec{E} действует пондеромоторная электрогидродинамическая сила $\vec{f}_{\text{эгд}}$, плотность которой без учета “стрикционной” составляющей равна

$$\vec{f}_{\text{эгд}} = \rho_{\text{оз}} \vec{E} - \left(\frac{E^2}{8\pi} \right) \text{grad} \varepsilon, \quad (1)$$

$\rho_{\text{оз}}$ – плотность свободных зарядов, ε – диэлектрическая постоянная. Рассмотрим особенности проявления (1) в случае водных электролитов. В отличие от жидких диэлектриков в них может иметь место увеличение плотности $\rho_{\text{оз}}$ и напряженности E по сравнению с величиной $E_0 = U/h$. Высокая концентрация низкомолекулярных ионов даже в дистилляте и водопроводной воде на порядки превышает концентрации ионов в жидких диэлектриках и обуславливает увеличение плотности объемных зарядов $\rho_{\text{оз}}$ – возникающих в электролитах как в области межфазных границ (объемный заряд двойного электрического слоя), так и вследствие электростатической индукции (струи, капли, пленки). В этом случае возможно пространственное разделение ионов, ведущее к образованию отрицательных и положительных зарядов, разделенных в пространстве диаметром капли, струи, толщиной пленки. Возникающие заряды, по-существу, представляют собой дипольные структуры, с плотностью зарядов $+\rho_{\text{оз}}$ и $-\rho_{\text{оз}}$, вследствие сил Кулона притягивающиеся друг к другу концами диполей, то есть с силой

$$\vec{F}_{КЭ} = -\rho_{ос}^2 / r^2. \quad (2)$$

Эти силы обуславливают стабилизацию струи, коалесценцию капель. На этом этапе происходит превышение сил притяжения над силами отталкивания, когда капля приобретает лишь заряды одного знака при более высоких полях [8–14]. В данном случае кулоновские силы растут с ростом концентрации электролита, и начало формирования капли происходит при меньших U . В этом случае падает и время релаксации, что видно из характера зависимостей, например, для дистиллята и 5% раствора NaCl. При $U=1$ кВ частота колебаний струи раствора достигает 1,1 Гц, а дистиллята при тех же условиях 0,6 Гц. Следует отметить, что с ростом концентрации ЭГД-эффекты растут, а не падают, как это принято считать в случае обычных представлений о характере электрокинетических эффектов.

Другой особенностью служит тот факт, что реальное значение напряженности электрического поля вблизи струи, поверхности капель, как отмечал уже Я.И. Френкель [8], значительно выше, чем определяется обычной оценкой для $E_0=U/h$, где E_0 – среднее значение однородного электрического поля. Это явление обусловлено тем, что введение проводящего элемента (водной струи), соединенного с одним из электродов, приводит к увеличению напряженности E , возникновению значительных величин $\text{grad}E$. Особенностью водных струй и капель, соединенных с основной массой жидкости или с заземленным электродом, служит факт увеличения поля пропорционально величине h_c/d_0 , где h_c – высота струи, d_0 – ее диаметр. Подобное увеличение может быть очень значительным и позволяет ожидать пробоя воздуха. По оценкам [15]

$$E_{\text{max}} / E_0 = (h_c / h_0)^2 [\ln(h_c / d_0) - 1]^{-1}. \quad (3)$$

Однако имеются и аналогичные свойства ЭГД-эффектов. В водных электролитах также могут возникать макроскопические объемные заряды (МОЗ), обусловленные наличием диффузионных слоев ($\delta_{\text{диф}}$), термоконвекционных, гравитационных и гидродинамических явлений. Протяженность таких зарядов $\delta_{\text{МОЗ}}$ значительно превышает толщину двойного слоя, а плотность значительно меньше $\rho_{\text{дв}}$, то есть $\delta_{\text{диф}} \leq \delta_{\text{МОЗ}} \gg \delta_{\text{дв}}$, а $\rho_{\text{МОЗ}} \ll \rho_{\text{дв}}$ [10, 16–18]. Наложение постоянного или переменного низкочастотного электрического поля на область существования МОЗ в электролитах приводит к рассасыванию его и к увеличению предельных токов в электрохимических системах [18]. Наличие подобных зарядов в электролитах существенно расширяет пространство проявления ЭГД-эффектов в водных средах. Они могут быть особенно существенны и в водных средах при наличии заряженных частиц различной природы.

Вместе с тем, эти явления играют значительную роль в функционировании живых систем, о чем уже отмечал Г.А. Остроумов [6], а также в механизмах действия на них электромагнитных полей [19–21].

5. Заключение

К сожалению, в наших экспериментах не проводилось детального исследования состава воды и растворов после электроразрядов. Однако следует ожидать значительного изменения свойств жидкости вследствие обогащения окислами азота, озоном, абсорбции различных продуктов разряда. Подобные представления позволяют считать необходимым учет в реальном балансе питания растений и других объектов живой природы прямого влияния электрических разрядов в атмосфере при грозах на состав природных вод (дождя, тумана, росы, морской и речной воды) за счет ее обогащения окислами азота и другими веществами. Подобные представления подтверждаются многочисленными аналитическими и опытными данными, где показан существенный вклад азотных соединений в баланс почвы [22].

Также следует отметить ведущую роль электрических полей атмосферы в их влиянии на процессы, происходящие в живых системах, и на роль электрических явлений в их функционировании. Так, электрические поля на мембранах интактных клеток составляют величины 10–100 кВ/см, а в примембранных слоях порядка 0,1–1 кВ/см [19–20]. Как известно, живые системы функционируют и в невесомости (микрогравитация) [23], так как процессы основного транспорта и обмена веществ реализуются в кровеносных капиллярах, диаметр которых порядка 10 мкм, где силы гравитации не оказывают существенного влияния и эффективны лишь силы электрогидродинамической природы.

С нашей точки зрения, целый ряд положений и понятий электрогидродинамики может быть полезен и перспективен для понимания явлений, происходящих в живой природе, где проблема процессов переноса в области межфазных границ особенно актуальна. В частности, особый интерес

представляет развитие представлений электромагнитной микрогидродинамики [10, 24–26], то есть движения жидкости в микрообъемах, влияние на это движение локальных электрических и магнитных полей, когда они особенно велики из-за малых расстояний. О необходимости учета влияния электрических зарядов межфазных границ на прилегающие слои жидкости при их движении отмечалось одним из ведущих гидродинамиков Дж. Бэтчелором [27, с. 142]: “Неоспоримо, однако, что электрические эффекты могут оказывать сильное влияние на мелкомасштабные движения, и мы должны принимать их во внимание”.

В свете вышесказанного, проблема электромагнитного загрязнения [3–4] представляется нам особенно важной не только из-за нарушения информационных электромагнитных связей живых систем, но и вследствие того, что подобные поля непосредственно влияют на процессы электрообмена, массо- и электропереноса в живых системах, в системе почва–растение–атмосфера, что может привести к непредсказуемым последствиям.

В заключение, автор выражает благодарность Ю.Н. Сапрыкину за помощь в экспериментальных исследованиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Протасов В.Р., Бондарчук А.И., Ольшанский В.М. Введение в электроэкологию. М., 1982.
2. Александров В.В. Электрофизика пресных вод. Л.,
3. Эйди У.Р., Дельгадо Х., Холодов Ю.А. Электромагнитное загрязнение планеты и здоровье // Наука и человечество. М., 1989. С. 10–18.
4. Кузьмичев В.Е., Чернова Г.В., Эндебера О.П. Природный электромагнитный фон и электромагнитное загрязнение биосферы // Тез. II междунар. конгр. “Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине.” Санкт-Петербург, 3-7.07.2000 г. С. 229–230.
5. Болога М.К., Гросу Ф.П., Кожухарь И.А. Электроконвекция и теплообмен. Кишинев, 1977.
6. Остроумов Г.А. Взаимодействие электрических и гидродинамических полей. М., 1979.
7. Стишков Ю.К., Остапенко А.А. Электрогидродинамические течения в жидких диэлектриках. Л., 1989.
8. Френкель Я.И., Вагер Г.П. Действие электрического поля на струю жидкости // Изв. АН СССР. Сер. географ. и геофиз. 1948. Т.12. № 3. С. 3–7.
9. Гегузин Я.Е. Капля. М., 1977.
10. Бондаренко Н.Ф., Гак Е.З. Электромагнитная гидрофизика и природные явления. Т. 1–2. 1995. Санкт-Петербургский Гос. Аграрн. Университет.
11. Войцеховский Б.Б. Огни святого Эльма и свечение на предметах в облаке электрически заряженных капель воды // ДАН СССР, 1982. Т. 262. № 1. С. 84–87.
12. Григорьев А.И., Сенкевич А.О. О возможном механизме возникновения огней Святого Эльма // ЖТФ. 1984. Т. 54. № 7. С. 1276–1283.
13. Коекин В.К. Воздействие паров воды на электрический разряд // Электронная обработка материалов. 1991. № 6. С. 38–41.
14. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэнде М. Электричество и магнетизм // Фейнмановские лекции по физике. Т.5. Пер. с англ. М., 1977. С. 190–191.
15. Коекин В.К. Электрическое поле системы электродов острие–плоскость // Электронная обработка материалов. 1993. № 11. С. 43–45.
16. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. 2-е изд. М., 1959.
17. Гак Е.З., Сапрыкин Ю.Н. Методика исследования свойств макроскопических объемных зарядов в водных средах // Электронная обработка материалов. 1983. № 2. С. 47–51.
18. Гак Е.З., Рохинсон Э.Е., Бондаренко Н.Ф. О роли объемных зарядов в кинетике электродных процессов // Электронная обработка материалов. 1973. № 6. С. 23–28.
19. Гак Е.З., Комаров Г.П., Гак М.З. Магнитогидродинамические и электрогидродинамические эффекты в механизмах действия магнитных полей на биологические объекты // Реакции биологических систем на магнитные поля. М., 1978. С. 26–38.
20. Гак Е.З. Пространственно-временное нарушение электронейтральности и симметрии как свойство живой материи // Эрвин Бауэр и теоретическая биология. Пушино, РАН, 1993. С. 163–169.
21. Гак Е.З., Красногорская Н.В. О роли электродинамических явлений в живых системах при действии на них ЭМП // Электромагнитные поля в биосфере. Т. 2. М., 1984. С. 179–185.
22. Бгатов В.И. История кислорода земной атмосферы. М., 1985.

23. *Пестов И.Д.* Биологические эффекты гравитации // “Человек в космическом полете.” Кн.1. Т. 3. М., 1997.
24. *Гак Е.З.* Электромагнитная микрогидродинамика // Электронная обработка материалов. 1987. № 3. С.87. (Деп.ВИНИТИ 06.11.1986. №7585 В 86.14с.).
25. *Бондаренко Н.Ф., Гак Е.З.* Электромагнитная микрогидродинамика в живых системах и модельных структурах // Тез. II Междунар. конгр. “Слабые и сверхслаб. поля и излучен. в биол. и медиц.” Санкт-Петербург, 3–7.07.2000 г. С. 23–24.
26. *Гак Е.З.* О роли физических полей низкой интенсивности в функционирования живых систем // Труды II Междунар. конгр. по [25] С. 29–32.
27. *Бэтчелор Дж.К.* Успехи микрогидродинамики // Теоретическая и прикладная механика / Пер. с англ. М., 1979. С. 136–187.

Поступила 07.11.2000

Summary

Experimental results of dispersion and coalescence water electrolytes drops and jets in electrical fields are given. Besides the peculiarities generation of some EHD-effects with the increase concentration electrolyte is examined. The role EHD-effects in living systems by influence nature and antropogenic electromagnetic fields is discussed.

И.М. Панченко, М.С. Панченко, А.С. Мосиевич, А.Л. Панасюк, Н.В. Полищук

СОРБЦИОННЫЕ И ВЛАГОПЕРЕНОСНЫЕ СВОЙСТВА ИОНИТОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

*Ровенский государственный гуманитарный университет,
ул. Бендеры, 12, г. Ровно, 33028, Украина*

Процессы сорбции и переноса влаги в полимерах широко используются в технологических процессах. Количество и интенсивность переноса поглощенного вещества определяют скорость протекания этих процессов и непрерывность работы технологических линий, производительность труда и качество конечной продукции.

С целью интенсификации и регулирования многих теплофизических процессов в последнее время используются высокоэнергетические физические воздействия (высокие температуры нагрева материала, инфракрасное и высокочастотное облучение и пр.). Но при этом во влажных телах происходят нежелательные процессы необратимых структурных и химических преобразований, в особенности в полимерах. Как показано в работах [1, 2], внутренний массоперенос можно существенно интенсифицировать, используя электрические поля (ЭП). Разработка методов управления процессами влагопереноса в полимерных материалах с помощью ЭП возможна только при понимании механизма протекания этих процессов в условиях воздействия наложенных полей.

Большинство тел, которые используются в производстве, а также природных, представляют собой органические и неорганические влажные полимерные системы. Они обладают разветвленной сетью микро- и макропустот. Такие сетчатые структуры принято считать своеобразной разновидностью коллоидных капиллярно-пористых тел (ККПТ) со своими особенностями. Эти тела обладают большой внутренней поверхностью, которая взаимодействует с молекулами, атомами и ионами окружающей паровоздушной или жидкой среды. Поэтому, а также благодаря высокой диссоциирующей способности влаги, в порах и капиллярах в ККПТ всегда имеется раствор различных ионов той или иной концентрации [3]. Таким образом, влажные полимерные тела представляют собой многофазные и многокомпонентные гетерогенные системы.

© Панченко И.М., Панченко М.С., Мосиевич А.С., Панасюк А.Л., Полищук Н.В., Электронная обработка материалов, 2001, № 4, С. 36–43.