

О ВОЗМОЖНОСТИ ВЛИЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО И ЗЕМНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА НА ФИЛЬТРАЦИЮ ВОДЫ

*Ровенский государственный гуманитарный университет,
ул. Остафова, 31, г. Ровно, UA –33000, Украина*

**Европейский университет финансов, информационных систем,
менеджмента и бизнеса,
ул. Киевская, 64Б, г. Ровно, UA -33028, Украина*

В [1–6] показано, что наложение неоднородных электрических полей (НЭП) на отдельные капиллярные трубки (КТ) и макропористые тела, в которых капиллярное давление намного меньше гидростатического ($2\sigma_{12}\cos\theta/r_0 \ll \rho_1 g l \sin\alpha$), существенно влияет как на длину столбиков, так и на скорость впитывания (фильтрации) воды. Менее заметно это явление в микрокапиллярах и макропористых телах, где выполняется противоположное соотношение давлений ($2\sigma_{12}\cos\theta/r_0 \gg \rho_1 g l \sin\alpha$).

С явлением фильтрации – просачивания воды в грунтах и трещиноватых породах – сталкиваемся постоянно: в научных исследованиях, в промышленном и сельскохозяйственном производстве. Это процессы орошения и осушения земли, гидрогеология, гидромеханика, искусственное восполнение водных ресурсов земли, сброс сточных вод, обтекание гидротехнических и электротехнических сооружений, протекание влаги через земляные дамбы и плотины, различные электрофизические и электрохимические явления в почвах и многое другое. Законы движения грунтовых вод могут распространяться на движение через другие пористые среды. Поэтому к области фильтрации примыкают сушка и увлажнение древесины и тканей, гидроизоляция, перемещение соков в растениях, нефтедобыча, извлечение соков из плодов и взвешенных частиц из растворов, очистка сточных вод и т.п. [7].

В многообразии элементов природы грунтовая вода и почва (грунт) занимают важнейшее место по значимости для всего человечества, его жизненных функций и поэтому являются первостепенными для существования жизни на Земле.

Из всех форм связи воды (адсорбированная на внешней и внутренней поверхностях частиц, влага микрокапилляров, которые составляют гигроскопическую влагу) и состояний типа канатной, пленочной и стыковой влаги, находящейся в макрокапиллярах между частицами грунта, нас будут интересовать только указанные состояния, поскольку при отсутствии НЭП эта вода движется в основном под действием силы тяжести через КТ (молекулярные силы при движении играют ничтожную роль) [8]. Интенсивность фильтрации определяется наличием самых крупных макропор. Водяные пары перемещаются путем диффузии. В присутствии градиента температуры возникают дополнительные, так называемые термоградиентные потоки, которые при незначительных колебаниях точной температуры грунта имеют второстепенное значение.

Громадная роль грунтовой воды для человечества аргументирует желание знать направление и разумно управлять процессами протекания жидкости в грунтах, а для этого необходимо глубокое знание закономерностей и законов фильтрации воды, особенно в присутствии многочисленных и разнообразных электрических полей.

Как отмечено в [9], главная преграда в использовании значительного постоянного заряда атмосферы состоит в том, что заряд в атмосфере рассеян с малой плотностью по всему околоземному пространству. Лишь в предгрозовом состоянии атмосферы или при грозах происходит концентрация зарядов в сравнительно небольшом по объему пространстве (грозовые тучи). Тогда возникают мощные НЭП, которые могут существенно влиять на фильтрационные свойства грунта.

Действительно [10], в канале лидера, который прокладывает путь молнии, вследствие стекания отрицательного заряда из тучи, последний заполняет его, как и канал любого стримера, неравномерно. Наибольшее количество заряда сосредоточено в головке лидера. По мере продвижения ли-

дера под влиянием создаваемого им НЭП в земле также происходит перемещение положительных гидратированных ионов. Они сосредоточиваются как можно ближе к головке канала лидера. Если грунт однородный, эти заряды концентрируются непосредственно под каналом лидера. Если же грунт неоднородный и основная его часть владеет большим удельным сопротивлением, то объемные заряды сосредоточиваются в участках с повышенной влажностью, а следовательно, и проводимостью (грунтовые воды). Вокруг них в земле возникают мощные НЭП, которые способны существенным образом влиять на влагоперенос в грунте. Когда лидер достигает земли, начинается обратный разряд. На головке этого разряда, который обеспечивается перетеканием в канал положительных гидратированных зарядов из грунта, есть область повышенной напряженности электрического поля, под влиянием которой плотность зарядов плазмы увеличивается на порядки. При этом происходит значительная перестройка НЭП в грунте в направлении усиления его напряженности в каждой точке. После молнии наблюдается продолжительная релаксация этого поля, которая сопровождается новой перестройкой полей влагосодержаний в грунте. В широких порах грунта при действии всех указанных факторов молнии возникает конвективное движение влаги в виде пара или жидкости.

Все же основной характеристикой молнии является ток, который преимущественно проходит по путям повышенной влажности [9]. Он возникает во внутренних частях объекта благодаря его увлажнению. За счет нагревания и испарения влаги током молнии внутри пористого тела резко увеличивается давление, которое и приводит к его разрушению. Даже через несколько суток можно наблюдать, что от места зарождения молнии на значительные расстояния радиально расходятся лучи обожженной травы, свидетельствующие, что ток молнии расстилался в макрокапиллярах супеси, по которым подтягивались положительные гидратированные ионы, а с ними и вода. Эти направления оказались гораздо более влажными, хотя именно в них происходило бурное испарение влаги по сравнению с соседними участками, а в эпицентре молнии (канале диаметром около 1 см) наблюдались выгорание грунта и агрегирование частиц песка в результате оплавления. Это и понятно, поскольку для линейной молнии разность потенциалов между тучей и землей может достигать 10^9 В. Средняя сила разрядного тока составляет примерно 10^3 А, а средний заряд, переносимый молнией, – 20 Кл. Выделяющаяся в канале молнии энергия равна 10^9 – 10^{10} Дж. Во время импульса ($\approx 10^{-3}$ с) канал молнии нагревается до $2 \cdot 10^4$ К. В течение промежутка между импульсами ($\approx 10^{-2}$ с) он остывает до 10^3 с. Весь разряд молнии длится около 0,1 с.

Впрочем (и это важно подчеркнуть), отсутствие молний еще не означает, что зарядов нет [10]. И в грозовых тучах, и в различных видах облаков, в частности в слоистых и слоисто-дождевых, накапливаются электрические заряды. Просто в грозовой туче этих зарядов намного больше, чем, например, в слоистом облаке. Заметим, что уже в чистой атмосфере, где вообще нет никаких облаков, имеются свободные электрические заряды. Все воздушное пространство над земной поверхностью пронизывают электрические токи, текущие сверху вниз – от «небес», а точнее, от ионосферы, которая заряжена положительно, а земная поверхность – отрицательно. При этом разность потенциалов между ними достигает $4 \cdot 10^5$ В. Полный отрицательный заряд Земли (как и положительный заряд ионосферы) составляет около 10^5 Кл. С высотой напряженность E поля атмосферы уменьшается. Наибольшее значение напряженности поля принимает вблизи земной поверхности; в условиях чистой атмосферы она равна 100 В/м. Следовательно, атмосферное электрическое поле неоднородное и направлено вертикально вниз. Поэтому оно должно влиять на массоперенос в растениях, поскольку они являются коллоидными капиллярно-пористыми телами, в капиллярах и осмотических ячейках которых от корней движется водный живительный раствор. Последний должен влиять на интенсивность роста и плодоношение растений.

Земля при ионосферном токе не теряет своего заряда потому, что существуют и обратные токи зарядки в местах нарушенной погоды, когда положительные заряды переносятся с молниями и осадками с земной поверхности к отрицательно заряженной нижней части тучи, после чего они переходят в ее верхнюю часть, а затем в ионосферу. И, таким образом, сохраняются как положительный заряд ионосферы, так и отрицательный Земли. Заметим, что во время грозы напряженность поля вблизи поверхности превышает 10^4 В/м. Причем оно направлено не вниз, как при ясной погоде, а вверх. Это означает, что в данном месте земной поверхности сосредоточен большой положительный заряд. Вокруг заряженных мест в земле и между ними возникают мощные НЭП и токи, которые влияют на перенос влаги при фильтрации. Даже при отсутствии грозы существующие облака индуцируют в грунте сравнительно мощные положительные заряды. При поверхностной напряженности около 500 В/м с заостренных предметов – кончиков деревьев, труб, мачт и даже травы в атмосферу стекают коронные разряды. При этом градиент напряженности ∇E направлен от почвы к верхушкам растений, способствуя всасыванию дополнительного количества влаги.

В [9] указывается, что капиллярная влага может иметь для некоторых видов щелочных вод выпуклые мениски и обуславливать отрицательную высоту капиллярного поднятия h_k – капиллярное опускание. Кроме того, поднятие капиллярной влаги происходит благодаря энергии гидратации ионов и адсорбционных центров на межфазной поверхности твердой и жидкой фаз.

На фильтрационные свойства грунта в значительной мере могут влиять мощные НЭП, которые формируются за счет образования свободных зарядов при механоэлектрических преобразованиях до и после землетрясения [9, 11]. Разрушение тела представляет собой разрывание электрических связей, появление свободных электрических зарядов, сигналов и тока. На самых ранних стадиях механического действия на твердые породы в тектоническом эпицентре развиваются механоэлектрические преобразования и появляется мощное сосредоточение свободных зарядов, то есть возникает сильный источник НЭП. Перед тектоническими явлениями, например сильным землетрясением и во время его, на поверхности земли часто наблюдаются электрические явления. За десятки или менее минут перед первым ударом напряженность E электрического поля в атмосфере повышается на сотни и тысячи вольт на метр. При этом атмосферное электрическое поле повышается настолько, что возникают ионизация и свечение воздуха. За несколько суток до первого толчка сильного землетрясения в земной коре возникают высокие НЭП, электрические токи, уменьшается сопротивление участка земной коры (в том числе и за счет влагопереноса под действием НЭП и тока) и изменяется геомагнитное поле в районе эпицентра.

Согласно [9] главные запасы энергии находятся в космосе в виде гравитационной энергии, которая поступает на Землю волнами гравитации. За счет этого увеличивается масса Земли. Увеличение массы и объема нашей планеты сопровождаются возникновением тектонических сдвигов и, естественно, механоэлектрическими преобразованиями, которые существенно влияют на перераспределение влаги в литосфере, а следовательно, и в грунте. В недрах земли концентрация электрической энергии значительно выше, чем в атмосфере. В горных породах напряженность электрического поля может достигать $3 \cdot 10^7$ В/м [9, 11].

Землетрясения на нашей планете происходят практически непрерывно: каждый час их насчитывается порядка десяти. В среднем один раз в год отличаются землетрясения с катастрофическими последствиями.

Вследствие землетрясений возникают сейсмические волны двух типов – продольные P и поперечные S . Кроме этого, от эпицентра землетрясения в земной поверхности распространяются волны типа L . При этом выделяется сейсмическая энергия, в том числе в виде энергии электрических полей [12].

Таким образом, земная кора за счет землетрясений пронизана как постоянными, так и переменными электрическими полями высоких напряженностей, которые, несомненно, должны влиять на явление фильтрации грунтовых вод.

Любое промышленное производство служит источником разного рода техногенных загрязнений. Большую часть физических загрязнений составляют постоянные и переменные электромагнитные поля разных частот, вплоть до рентгеновских. Огромные потоки электрической энергии, учитывая колоссальные масштабы ее производства, стекают в землю через многомиллионные заземления электроэнергетического оборудования, радио- и электроаппаратуры и зануления линий высоковольтных передач. В земле, преимущественно в грунте, рассеяны разнообразные типы блуждающих НЭП и токов. Все они влияют на массо- и теплоперенос в грунте, реконструируя поля температур и влагосодержаний, а следовательно, изменяя скорость и направление процессов миграции воды, перенос тепла с горячей водой, испарение воды и конденсации пара [13–17]. Поэтому возрастает необходимость в исследовании электрофизических механизмов этих явлений, пока они не переросли в экологическую катастрофу [18]. При электрофизическом воздействии изменяются практически все физические свойства воды [19, 20], как и связанной воды [17, 21], которая находится в сильном электрическом поле поверхности пор грунта.

Для большинства реально существующих грунтов (песка, глины, торфа, скалистых трещиноватых пород и т. п.) выполняется закон Дарси:

$$v = -\kappa \frac{dh}{dl}, \quad (1)$$

где v – скорость фильтрации; κ – коэффициент фильтрации; h – величина пьезометрического напора или просто напора; l – расстояние, отсчитываемое вдоль линии тока. При этом в любой момент времени и в произвольной точке (x, y, z)

$$h = \frac{p}{\rho_1 g} + z, \quad (2)$$

где p – гидростатическое давление, ρ_1 – плотность воды, g – ускорение силы тяжести, z – геометрическая высота.

Учитывая, что на жидкость, заполняющую пористую среду, действует объемная сила тяжести ρg , направленная вертикально вниз, и при наличии объемной электрической силы f_e , которая направлена вертикально вверх, выражение (2) переписывается в виде

$$h_a = \frac{p}{\rho_1 g - f_e} + z. \quad (3)$$

При этом

$$\begin{aligned} \vec{f}_e = & \sigma_a^{\dot{a}} \nabla E - 0,5 \varepsilon_0 E^2 \nabla \varepsilon_1 + 0,5 \varepsilon_0 \nabla \left[E^2 \left(\frac{\partial \varepsilon_1}{\partial \rho_1^{\dot{a}}} \right)_{\dot{0}} \rho_1^{\dot{a}} \right] + \frac{0,5 \varepsilon_0 (\varepsilon_2 E_2^2 - \varepsilon_1 E_1^2)}{h_s} + \rho_e E + \\ & + \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_1 z_i}{\Phi_0 h_e} \int \left(\frac{t}{\sigma_a^{\dot{a}}} \right)^2 \left(\frac{t dr}{\sigma_a^{\dot{a}}} \right) \pm \frac{\Delta \delta}{\delta_a^{\dot{a}}} + \frac{\sigma_{12}^{\dot{a} 2}}{2 \varepsilon_0 \varepsilon_1 h_s} + \frac{q^2 \cos^4 \theta_e}{16 \pi^2 \varepsilon_0 \varepsilon_1 r_0^4 h_s} + \\ & + \frac{0,5 \varepsilon_0 \varepsilon_1}{\delta_a^{\dot{a} 3}} \cdot \frac{l_a U^2}{\left(r_0 - \chi - \frac{\chi}{a'} \right) \ln \left(r_0 / \left(r_0 - \chi - \frac{\chi}{a'} \right) \right)^2} - 0,5 \varepsilon_0 E^2 \left(\frac{\partial \varepsilon_1}{\partial T} \right)_{\rho_1} \nabla \Delta, \end{aligned} \quad (4)$$

где $\sigma_e^{\dot{a}}$ – плотность связанных зарядов мениска; ε_0 – электрическая постоянная; ε_1 – диэлектрическая проницаемость жидкости; ε_2 – диэлектрическая проницаемость паровоздушной среды; h_s – толщина приповерхностного слоя жидкости, который насыщен ионами коронного или искрового разряда; ρ_e – объемная плотность заряда жидкости; z_i – валентность ионов; $\Phi_0 = \kappa T / e$ – специфический потенциал, e – заряд электрона; t – плотность электрического тока; r_0 – радиус КТ; dr – прирост радиуса при движении от оси КТ; σ_e – удельная электропроводность жидкости; Δp – дополнительное давление к атмосферному со стороны коронного ветра или плазмы искрового разряда в КТ; $\delta_e^{\dot{a}}$ – расстояние между источником НЭП и мениском; q – заряд вершины столбика воды; χ – толщина двойного электрического слоя, a' – постоянная, зависящая от свойств жидкости и поверхности стенки КТ; $l_e = h_e / \sin \alpha$ – длина столбика воды в КТ, который наклонен под углом α к горизонту при воздействии НЭП; h_e – высота столбика воды в вертикальном положении КТ.

Выражение для f_e состоит из ряда слагаемых, которые описывают силовое влияние НЭП как на объем жидкости, так и на ее поверхностные слои в КТ [13, 22–25, 26–32], а именно: 1) силы втягивания столбика воды, как макродиполя, в область максимальной напряженности E поля [13]; 2) силы, действующей на единицу объема незаряженной жидкости в изотермических условиях при взаимодействии НЭП с поляризационными зарядами, которая обуславливает движение диэлектрической жидкости против направления $\nabla \varepsilon$ (в область меньших значений ε (газ)) [23]; 3) стрикционной силы, влияющей на равнодействующую, если данное тело (жидкость) окружено другим диэлектриком [23]; 4) поверхностной силы, действующей со стороны поля на границу раздела фаз и направленной в область с меньшим значением ε ($\varepsilon_1 > \varepsilon_2$) и большей величиной E ($E_2 > E_1$), то есть на границе жидкость–паровоздушная среда силы НЭП действуют на связанные заряды в направлении, противоположном силам поверхностного натяжения воды или водного раствора σ_{12} , что при определенных условиях приводит к деформации мениска, возникновению капиллярных волн, разрушению границы вода–воздух, диспергированию жидкости и перестройке двухфазного (с пузырьками) течения [24]; 5) объемной пондеромоторной силы, которая действует на заряженную жидкость [22, 26]; 6) силы, связанной с неоднородным специфическим распределением σ_e и E при прохождении постоянного электрического тока [27]; 7) сил, которые изменяют ускорение жидкости за счет давления на мениск коронного разряда или плазмы искрового разряда [25, 28]; 8) электрической силы, возникающей при насыщении мениска ионами одного знака [29]; она совпадает с направлением силы Лапласа (возникает действие, ана-

логичное (4)); 9) силы влияния НЭП, благодаря которой происходит изменение условий разрушения ее вершины [30]; 10) силы, сжимающей жидкость в направлении к оси КТ, когда ее стенки и жидкость заряжены одноименными зарядами [22, 31], что приводит к выдавливанию воды с КТ; 11) электротермогидродинамической силы, возникающей благодаря существованию градиента температуры ∇T и направленной противоположно [32, с. 95], что ускоряет движение жидкости к холодному концу КТ.

Из (3) следует, что пондеромоторные силы НЭП, несомненно, должны влиять на скорость фильтрации, а следовательно, и на величину потока воды при воздействии НЭП

$$j_a^a = \rho_1^a v_a, \quad (5)$$

где v_e – скорость фильтрационного потока в НЭП, плотность воды в НЭП.

С учетом сложности выражения (4) и возможной его неадекватности нахождение величины фильтрационного потока в НЭП, вероятно, далекая перспектива, тем не менее работа должна проводиться.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпович И.Н., Панченко М.С., Панасюк А. Л., Чураев Н.В. Влияние неоднородных электрических и магнитных полей на впитывание жидкости капиллярно-пористыми телами // Электронная обработка материалов. 1982. № 4. С. 62–66.
2. Полищук Н.В., Панченко И.М., Панченко М.С., Карпович И.Н. Эффекты воздействия и последствия электрических полей на поднятие воды в макрокапиллярах // Электронная обработка материалов. 2002. № 4. С. 54–67.
3. Полищук Н.В., Панченко И.М., Панченко М.С., Карпович И.Н. Влияние электрических полей на перемещение воды в капиллярных трубках // Электронная обработка материалов. 2003. № 4. С. 27–36.
4. Полищук Н. В., Панченко И. М., Панченко М. С., Карпович И. М. Влияние электрического поля на скорость перемещения воды в широком капилляре, расположенном под малым углом к горизонту // Электронная обработка материалов. 2003. № 6. С. 25–33.
5. Полищук Н.В., Панченко И.М., Панченко М.С. Влияние влагопереноса на теплоперенос под воздействием неоднородного электрического поля в конических капиллярах // Инженерно-физический журнал. 2004. Т. 77. № 4. С. 121–127.
6. Полищук Н.В., Панченко И.М., Панченко М.С., Мосиевич А.С. Интенсификация влаго- и теплопереноса при капиллярном впитывании воды макропористой средой при совместном действии неоднородных температурного, электрического и гравитационного полей / ГНУ «Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси». Тезисы докладов и сообщений. V Минский международный форум по тепло- и массообмену. 24–28 мая 2004 г. Т. 2. С. 240–241.
7. Ляшко И.И., Сергиенко И.В., Мистецкий Г.Е., Скопецкий В.В. Вопросы автоматизации решения задач фильтрации на ЭВМ. Киев: Наукова думка, 1977. 288 с.
8. Лыков А.В. Явления переноса в капиллярно-пористых телах. М.: Гос. изд-во техн.-теор. лит., 1954. 296 с.
9. Воробьев А.А. Электричество земной коры – новый источник энергии // Электронная обработка материалов. 1980. № 3. С. 40–46.
10. Техника высоких напряжений / Под общей ред. Д. В. Разевига. М.: Энергия, 1976. 488 с.
11. Кобранова В.Н. Физические свойства горных пород / Под ред. д-ра геолого-минер. наук, проф. В. Н. Дахнова. М.: Гос. научн.-техн. изд-во неф. и горно-топлив. лит., 1962. 481 с.
12. Браун Д., Массет А. Недоступная Земля / Пер. с англ. М.: Мир, 1984. 262 с.
13. Сильные электрические поля в технологических процессах: Электронно-ионная технология. Сб. статей. Вып. 3 / Под ред. акад. В. И. Попкова. М.: Энергия, 1979. 184 с.
14. Бут А.И. Основы электронной технологии строительных материалов. М.: Изд. лит. по строительству, 1968. 166 с.
15. Бернацкий А. Ф., Целебровский Ю. В., Чунчин В. А. Электрические свойства бетона / Под ред. доктора техн. наук, проф. Ю. Н. Верещагина // М.: Энергия, 1980. 280 с.
16. Новиков М. И., Федоров А. М. Влагостойкость радиоэлектронной аппаратуры. М.: Радио и связь, 1981. 80 с.

17. *Нертин С.В., Чудновский А.Ф.* Физика почвы. М.: Наука, 1967. 481 с.
18. *Білявський Г.О., Падун М.М., Фурдуї Р.С.* Основи загальної екології. К.: Либідь, 1995. 368 с.
19. *Эйзенберг Д., Кауцман В.* Структура и свойства воды / Пер. с англ. А. К. Шемелина; Под ред. чл.-кор. АН СССР Богородского. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 270 с.
20. *Усатенко С.Т.* Об электрофизическом воздействии на водородосодержащие жидкости // *Электронная обработка материалов.* 1980. № 3. С. 46–50.
21. *Грег С., Синг К.* Адсорбция, удельная поверхность, пористость / Пер. с англ. 2-е изд. М.: Мир, 1984. 306 с.
22. *Денисов А.А., Нагорный В.С.* Электрогидро- и электрогазодинамические устройства автоматики. Л.: Машиностроение, 1979. 288 с.
23. *Тамм И.Е.* Основы теории электричества. М.: Наука, 1976. 504 с.
24. Теплообмен при кипении и конденсации в электрическом поле / *Болога М.К., Смирнов Г.Ф., Дидковский А.Б., Климов С.М.*; Под ред. док. техн. наук Л.Л. Васильева. Кишинев: Штиинца, 1987. 223 с.
25. *Капцов Н.А.* Коронный разряд. М.; Л.: Гостехиздат, 1947. 288 с.
26. *Болога М.К., Гросу Ф.П., Кожухарь И.А.* Электроконвекция и теплообмен. Кишинев: Штиинца, 1977. 320 с.
27. *Остроумов Г.А.* Распределение механических сил в неподвижном электролите при произвольной конфигурации электродов // *Электронная обработка материалов.* 1975. № 2. С. 37–40.
28. *Остроумов Г.А.* Взаимодействие электрических и гидродинамических полей. М.: Наука, 1979. 320 с.
29. *Гросу Ф.П., Болога М.К., Кожухарь И.А.* Теоретические аспекты воздействия электрического поля на растворимость // *Электронная обработка материалов.* 2004. № 1. С. 42–45.
30. *Коекин В.К.* Воздействие электрического поля на струю жидкости // *Электронная обработка материалов.* 1990. № 4. С. 43–45.
31. *Григоров А.И., Ширяева С.О., Егорова Е.В.* О некоторых особенностях нелинейного резонансного взаимодействия мод заряженной струи // *Электронная обработка материалов.* 2005. № 1. С. 42–49.
32. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 1982. 615 с.

Поступила 05.09.06

Summary

About an opportunity of influence of an atmospheric and terrestrial electricity on a filtration of water.
