

# ФИЗИКА ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

---

---

**А.Н. СМІРНОВ,**

*канд. хим. наук, профессор*

*E-mail: a.n.smirnov@mail.ru*

*Московский государственный  
технический университет радиотехники,  
электроники и автоматики*

**Т.Г. САМХАРАДЗЕ,**

*доктор техн. наук, профессор*

*Институт общей физики РАН*

*Москва, Российская Федерация*

## ГЕНЕРАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В ВОДЕ МАГНИТНЫМИ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПОЛЯМИ

*В работе изложены новые экспериментальные факты, свидетельствующие о генерации электрических и акустических колебаний в водной среде при воздействии магнитных и электрических полей. В возникновении этих колебательных процессов в низкочастотной области (1,5...2,5 кГц) большая роль принадлежит крупным структурным образованиям в воде – эмульонам. Обнаруженные явления могут найти применение при исследовании водных растворов.*

**Ключевые слова:** **одные** системы, генерация электрических и акустических колебаний, эмулоны.

**A.N. SMIRNOV,**

*Cand. of Chem. Sciences, Professor*

*E-mail: a.n.smirnov@mail.ru*

*MIREA*

**T.G. SAMHARADZE,**

*Doctor of Techn. Sciences, Professor*

*Prokhorov General Physics Institute of the Russian*

*Academy of Sciences*

*Moscow, Russian Federation*

## GENERATING ELECTRIC AND ACOUSTIC OSCILLATIONS INTO THE LIQUID WATER BY MEANS OF ELECTRICAL AND MAGNETIC FIELDS

*At the article described new experimental results about generating electric and acoustic oscillations into the liquid water by means of electrical and magnetic fields. The frequency of oscillations is 1,5...2,5 kHz. The arise oscillations connected with presece of emulons into aqueous systems. The effect may be use for investigation and studies in electrolytes.*

**Key words:** aqueous systems, generating electric and acoustic oscillations, emulons.

Для воды характерна ярко выраженная способность самоорганизации [1, 2]. Исследованию структуры жидкой воды посвящено огромное количество обширных исследований [3...6]. Предложенные теории удовлетворительно объясняют только часть наблюдаемых явлений. Сравнительно недавно, в бидистиллированной апирогенной воде обнаружено присутствие ранее не описанных пяти фракций надмолекулярных комплексов с диаметрами от 3 до 100 мкм [7...9].

Характерные свойства этих частиц, позволяют назвать их «эмульонами», от слова эмульсия, по новому объяснить некоторые закономерности в водных системах и предсказать новые явления.

Пространственная организация эмулонов зависит от состава водного раствора, температуры и предыстории образца. Таким образом, водная среда представляет сложноорганизованную единую систему, что приводит к тому, что ее свойства не являются простой суммой отдельных структурных элементов, а возникает феномен кооперативности. В таком ансамбле отдельные структурные элементы могут менять свою форму и размеры согласованно.

Наличие эмулонов в воде непротиворечиво включает все ранее полученные экспериментальные факты. Полидисперсная структура эмулонов существующих в воде, приводит к полимодальному

отклику на внешние воздействия, проявлению гистерезисных явлений и значительным временам релаксации. Показано, что жидкая вода легко меняет структуру под воздействием внешних факторов крайне низкой интенсивности, например, появление в ИК спектре новых полос, индуцированных слабым магнитным полем [10]. Обнаружено наличие инерционности электрического сопротивления воды в слабых постоянных магнитных полях [11]. О магнитной обработке воды и ее применении в самых различных областях техники наиболее обстоятельно изложено в книге В.И. Классена [12].

После воздействия на воду магнитного поля в ней увеличивается скорость химических процессов и кристаллизации растворенных веществ, предотвращается образование накипи, замедляется коррозия, интенсифицируются процессы адсорбции, улучшается коагуляция примесей и выпадение их в осадок. Такая обработка оказывается полезной при добыче и перекачке высокопарафинистой нефти. Затворение цемента магнитной водой сокращает сроки затвердевания, и образующаяся мелкокристаллическая структура придает изделиям большую прочность и повышает их стойкость к агрессивным воздействиям.

Магнитная вода применяется не только в промышленности. Не менее успешно можно ее использовать и в сельском хозяйстве. Из этих, далеко неполных примеров, видно, что магнитное воздействие на воду вызывает множество эффектов, природа которых до сих пор неясна, несмотря на широкое применение в технике [12]. Отсутствие научного объяснения этого явления отстает от практики и создает почву для всевозможных спекуляций.

Открытие эмулонов позволяет приблизиться к решению этой проблемы. При образовании эмулонов в воде, ионы водорода  $[H^+]$  и гидроксила  $[OH^-]$  играют решающую роль. Гидратированные ионы  $H^+ \cdot n_1 H_2O$  и  $OH^- \cdot n_2 H_2O$  образуют ионные пары, из которых, вероятно, и строятся эмулоны

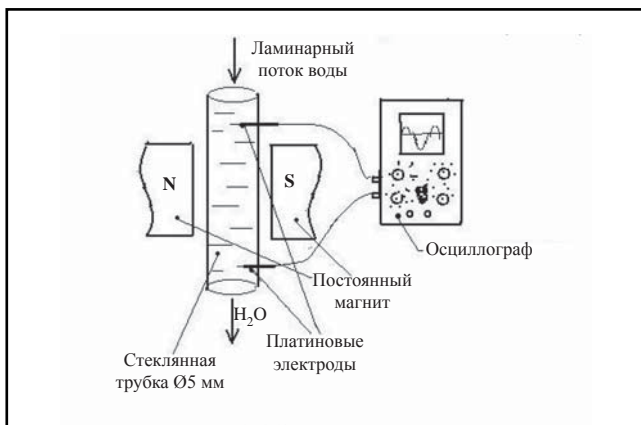


Рис. 1. Схема установки

включающие до  $10^7 \dots 10^9$  этих частиц. Эмулоны, вероятно, имеют очень значительный дипольный момент, поскольку образованы ионными парами и это способствует формированию пространственной сети с фрактальной структурой. Они способны диссоциировать на очень крупные положительно и отрицательно заряженные фрагменты с величиной заряда до  $10^3 \dots 10^5$  зарядов электрона, причем молекулярная масса положительных частиц на несколько порядков больше, чем отрицательных. Наличие эмулонов в воде позволяет непротиворечиво понять механизм воздействия магнитного поля на водные системы, используя законы электродинамики [13, 14]. Это позволяет легко объяснить очень интересный эффект, обнаруженный нами: при протекании воды в тонкой стеклянной трубке диаметром 5 мм со скоростью  $\approx 0,7$  м/с (поток ламинарный) помещенной в постоянное магнитное поле  $\approx 80 \cdot 10^3$  А/м (40 кЭ). Схема установки приведена на рисунке 1. На платиновых электродах, расположенных до магнита и после него, по ходу струи жидкости наблюдается возникновение переменной ЭДС величиной от 3 до 10 мВ с частотой  $f = 1,5 \dots 2,5$  кГц.

Возникновение колебаний аналогично их возникновению в плазме, однако специфику вносит огромная масса эмулонов и их малая подвижность. Благоприятным является разница в массах положительно и отрицательно заряженных эмулонов на два порядка.

При массе эмулонов порядка  $10^5$  а.е. массы и заряде  $10^3 \dots 10^5 e$ , при  $T = 300$  К частота их столкновений (обратное время релаксации импульса)  $\approx 10^6 \dots 10^7$  с<sup>-1</sup>; а циклотронная частота  $\approx 10^5$ , т.е. меньше частоты столкновений. Если к тому же заметить, что наблюдаемая частота колебаний тоже меньше как частоты столкновений, так и циклотронной частоты, то для описания колебаний применима обычная магнитная гидродинамика [13, 14]. В магнитной гидродинамике существуют продольно-поперечные волны, распространяющиеся поперек магнитного поля, со спектром частот:

$$\omega = \mathbf{k}(V_A^2 + V_s^2)^{1/2},$$

где  $\mathbf{k}$  – волновой вектор;  $V_A$  – альфеновская скорость;  $V_s$  – скорость звука. В воде скорость звука  $1,5 \times 10^5$  см/с,  $\rho = 1$  г/см<sup>3</sup>. При этом магнитное давление равно  $H_0^2/4\pi$ , будет порядка атмосферного. Этого вполне достаточно для того, чтобы разрушить структуру воды. В обратном пределе низких частот, распространение поперечной электромагнитной волны с вектором напряженности электрического поля, направленным строго перпендикулярно к вектору индукции внешнего магнитного

поля, вполне аналогично помещению плазмы в скрещенные поля.

Схема возникновения переменной разности потенциалов приведена на рисунке 2. Вследствие различия масс положительно заряженных эмулонов  $em^+$  и  $em^-$  при их движении в магнитном поле возникает переменный потенциал  $\Delta E$ . При этом, поскольку смещения от равновесных положений положительно заряженных фрагментов эмулонов и отрицательно заряженных фрагментов эмулонов имеют разный знак, то электролит должен поляризоваться, тогда получаем, что в рассматриваемом низкочастотном пределе возникает переменная разность потенциалов на электродах. В предельном случае необходимо учитывать возможность резонанса при совпадении частоты волны и циклотронных частот. Волну можно интерпретировать как последовательность сжатий и разрежений магнитного поля и плотности электролита. Плоские волны сжатия–разрежения распространяются перпендикулярно к магнитному полю, т.е. они поперечные по отношению к магнитному полю и продольные по отношению к направлению распространения. Эти волны вполне аналогичны звуковым, часто их по аналогии называют магнитным звуком. Необходимо подчеркнуть, что вещество в волне движется не в направлении  $E$ , как может показаться, а в направлении распространения колебаний, в направлении волны, поскольку рассматривается движение массы, а она сосредоточена во фрагментах эмулонов. Необходимо отметить, что излучателем является весь объем электролита, находящийся в магнитном поле.

Попытки магнитной обработки водных систем, для придания им новых свойств, предпринимались во многих отраслях промышленности, медицине и сельском хозяйстве. Теперь понятны причины противоречивых результатов использования магнитной обработки водных систем, представленные в научно-технической литературе, патентной и рекламной информации. Результат зависит от многих параметров и в первую очередь от характеристик магнитного аппарата ( $H$ ,  $\text{grad}H$ ), гидродинамики потока воды, свойств ферромагнитных примесей (дисперсность, магнитная восприимчивость, форма частиц и др.). В эксперименте лучшие результаты, по литературным данным, получены при диаметре трубки в зазоре магнита 9 мм  $V_{\text{мп}}=1,15$  м/с при  $H=260$  кА/м [15].

Из приведенных примеров и теоретических соображений можно заключить, что действие, производимое аппаратами на жидкости, является чисто физическим, химический состав остается неизменным, вода при этом не становится мягкой. Пропускание содержащих электролит жидкостей через сильное

магнитное поле вызывает изменение структуры водных растворов, а именно разрушение крупных эмулонов. Этому способствуют возникающие в среде колебания. Растворенные минеральные соли, которые обычно при нагреве, или при нарушении равновесного содержания  $\text{CO}_2$ , выпадают в форме твердых, нежелательных и вредных отложений (котельный камень, жесткие осадки и т.д.), при действии магнитного аппарата выпадают в форме рыхлого шлама, который может быть легко вымыт или удален. Физико-химические показатели (рН, электропроводность, время релаксации при исследовании методом ЯМР) свидетельствуют о структурных отличиях обработанной воды от контроля.

Выполнена и другая, интересная серия экспериментов по возбуждению акустических колебаний ЭМП, а также передаче дистанционно электрического сигнала используя в качестве излучателя воду, а в качестве приемника другой идентичный образец воды. Схема установки приведена на рисунке 3.

Переменный электрический сигнал порядка 0,17 В с генератора НЧ подавался на платиновый электрод, погруженный в правый цилиндр, заполненный дистиллированной водой. На определенной частоте (1,5...2,5 кГц) в жидкости возникали акустические колебания, которые улавливались микрофоном. При наличии резонанса они хорошо слышны и «невооруженным» ухом. Этот же сигнал излучается как ЭМВ объемом воды в правом цилиндре и передается на значительные расстояния по воздуху. Он принимается идентичным платиновым электродом, помещенным в левый цилиндр с одинаковым образцом дистиллированной воды. Процесс хорошо наблюдается на экране осциллографа. Специально поставленными опытами установлено, что в водной среде, сигнал на резонансной частоте может распространяться на расстояние более 25 м. Введение металлического экрана между цилиндрами с водой, исключает передачу сигнала. Характерная особенность опытов заключается в том, что генерация и прием сигналов осуществляется всем объемом жидкости. Конечно же, здесь работает эффект Дебая.

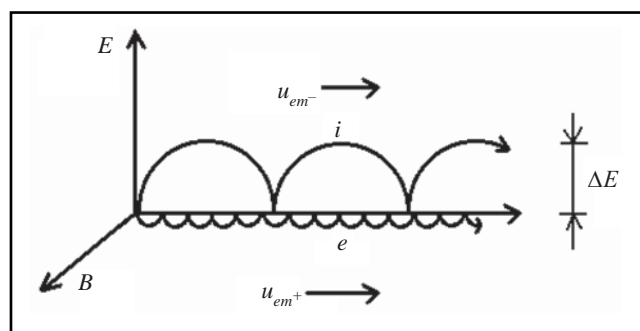


Рис. 2. Возникновение разности потенциалов при движении эмулонов в магнитном поле

Он (1933 г.) высказал следующие предположения: если учитывать только трение, то между скоростями ионов и частиц жидкости при распространении звуковых волн в электролите нет никакой разницы. Однако если учесть различие в массах, то ионы в силу инерции должны отставать от частиц жидкости, и тем сильнее, чем больше различие в массах. Следовательно, когда в жидкости имеются ионы двух типов с различными массами, то под действием звукового поля должны происходить периодические накопления зарядов, а значит, и периодические колебания потенциала.

В нашем случае, поскольку в процессе участвуют эмулоны, масса которых на много порядков больше массы ионов, то и эффективность его во много раз больше. Первыми, кто обнаружил эффект преобразования акустических колебаний в электролите в электрический сигнал и исследовали его, были Л.В. Никитин [17, 18] и М. Вильямс [19]. Они использовали этот эффект для приема и измерения в жидкостях звуковых колебаний слышимого диапазона. Расчет показывает, что разность потенциалов в растворах KCl и LiBr с концентрацией 0,001 н. при колебательной скорости  $U=1$  см/с, которую можно получить даже в слабом ультразвуковом поле, составляет по порядку величины 1 мкВ, при существующих средствах, она может быть измерена, но измерения очень затруднены.

При проведении исследований, обнаружен ряд интересных фактов, которые в то время не нашли объяснения. Например, Косе [19] измерял эффект Дебая в суспензии колларгола на частотах 8...80 кГц. Он обнаружил, что на частотах выше

50 кГц эффект уменьшается в три раза; теория не могла объяснить это явление. По нашему мнению, это происходит потому, что массивные ионы – эмулоны не успевают следовать за изменением колебательной скорости в звуковой волне. Кришнамурти [20] установил, что при пропускании электрического тока через растворы:  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  скорость звука в них возрастает приблизительно на 1 %. Причину этого, не зависящего от концентрации раствора явления, приписывают тому, что под действием электрического тока распределение зарядов ионов в растворе становится несимметричным. Можно согласиться с этим, эмулоны в растворе выстраиваются в цепочки.

В статье А.Н. Малахова, В.В. Черепенникова [21] показывается возможность возбуждения электрическим полем акустических колебаний в электролитах. Данное явление авторы объясняют различием коэффициентов трения ионов в растворителе, связанное со столкновением ускоренных электрическим полем ионов с электронейтральными молекулами растворителя.

На основании предложенного механизма авторами проведены расчеты оптимального КПД излучателя, которой составил по порядку  $10^{-12}$ . Результаты проводимых нами наследования полярных жидкостей находятся в явном несоответствии с выводами теоретической трактовки, предложенной в статье. В частности, эксперименты по преобразованию электрических колебаний в акустические в электролитах имеют значение КПД, превышающее указанное в статье по крайней мере на

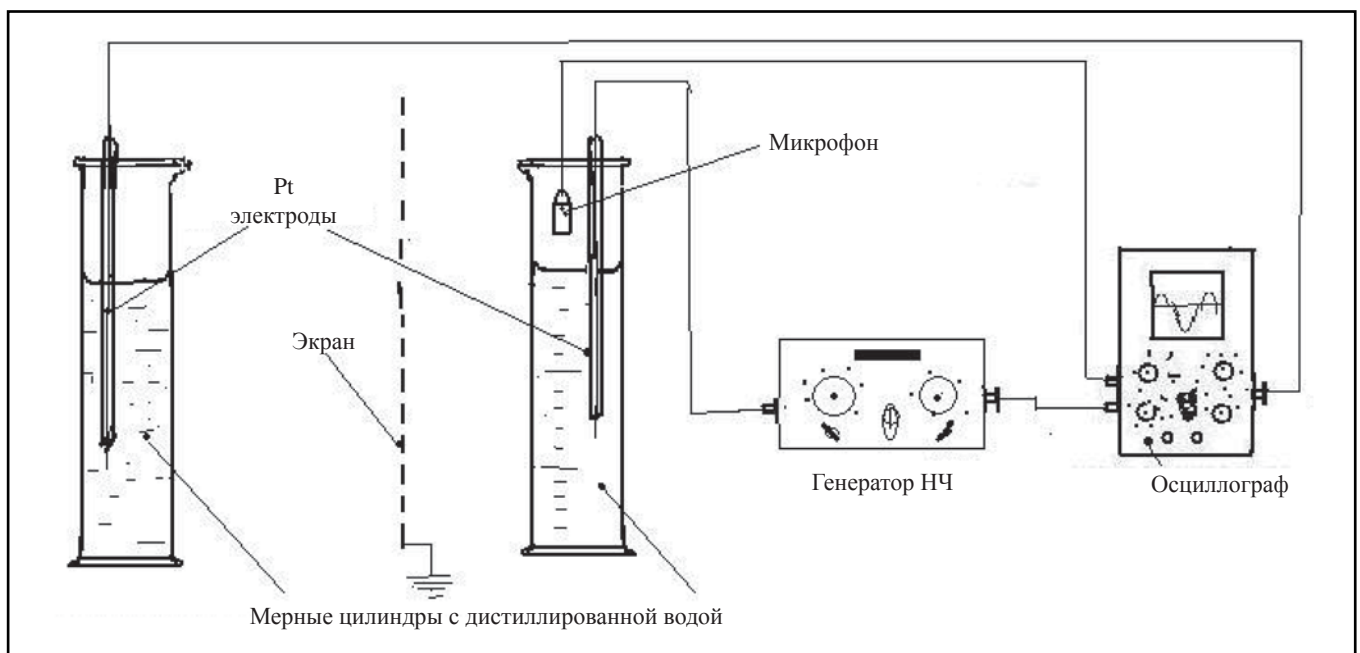


Рис. 3. Возбуждение акустических и электромагнитных волн в водной среде. Схема экспериментов



5...7 порядков. Более того, эффект преобразования электрических колебаний в акустические наблюдается не только в электролитах, но и в жидких полярных диэлектриках. Причем в них, как и в электролитах, существует и обратный эффект преобразования акустических колебаний в электрические. По-нашему мнению, для теоретической интерпретации наблюдаемых явлений решающим является представление о структурности полярных жидкостей, обусловленной сильной ассоциацией молекул. В воде это образование эмулонов. Поскольку вода содержит эмулоны, которые построены из гидратированных ионов  $H^+ \cdot n_1 H_2O$  и  $OH^- \cdot n_2 H_2O$  включающих до  $10^7 \dots 10^9$  этих частиц, с резко отличающимися массами, то она представляет собой электролит с исключительно большой асимметрией. То есть она должна напоминать сильно диализированные коллоидные растворы, поэтому, возникающая разность потенциалов должна быть значительно больше. Правомерность такого подхода подтверждается в наших экспериментах, наличием зависимости КПД преобразования от величины дипольного момента молекул растворителя и отсутствием эффекта в неполярных жидкостях.

Таким образом, в водных растворах наблюдаются обратимые акустоэлектрические процессы, возникновение электромагнитных колебаний при течении их в магнитном поле и при воздействии на них переменного электрического поля, это является следствием структурированности жидкостей – наличия в них эмулонов.

Авторы выражают глубокую благодарность А.А. Рухадзе за обсуждение результатов и ценные советы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зацепина Г.Л. *Физические свойства и структура воды*. М.: Изд. МГУ, 1998, 185 с.
2. Эйзенберг Д., Кауцман В. *Структура и свойства воды*. Л.: Гидромет, 1975, 206 с.
3. Эрдеи-Груз Т. *Явления переноса в водных растворах*. М.: Мир, 1976. 595 с.
4. Самойлов О.Я. *Структура водных растворов электролитов и гидратация ионов*. М.: Изд. АН СССР, 1957, 185 с.
5. Антонченко В.Я., Давыдов А.С., Ильин В.С. *Основы физики воды*. Киев: Наукова думка. 1991, 669 с.
6. Смирнов А.Н. Генерация акустических колебаний в химических реакциях и физико-химических процессах // *Рос. Хим. журнал*. 2001. Т. 45. С. 29...34.
7. Смирнов А.Н. Структура воды: новые экспериментальные данные // *Наука и технологии для промышленности*. 2010. № 4. С. 41...45.
8. Кузнецов Д.М., Гапонов В.Л., Смирнов А.Н. О возможности исследования кинетики фазовых

переходов в жидкой среде методом акустической эмиссии // *Инженерная физика*. 2008. № 1. С. 16...20.

9. Smirnov A.N., Savin A.V, Sigov A.S. Emulons and solitons into the water. *Applied physics and mathematics*. 2013. № 1. P. 74...79.
10. Холмогоров В.Е. и др. // *НИИ физики Санкт-Петербургского ГУ г. Старый Петергоф, Санкт-Петербург*, 2005.
11. Санкин Г.Н., Тесленко Н.В. Инерционность изменения электропроводности воды в слабых постоянных магнитных полях // *Журнал технической физики*. 2000. Т. 70. Вып. 3. С. 63...65.
12. Классен В.И. *Омагничивание водных систем*. М.: Химия, 1978, 240 с.
13. Александров Ф., Рухадзе А.А. *Лекции по электродинамике плазмopodobных сред*. М.: МГУ, 1999, 334 с.
14. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Электродинамика сплошных сред*. М.: ГИФМЛ, 1959, 587 с.
15. Марakov В.В. *Физико-химические основы безреагентной обработки водно-солевых систем с применением ЭМП низкой частоты*. Екатеринбург-Березники, 2011, 179 с.
16. Никитин Л. В. К вопросу о характеристике звукоактивных состояний некоторых металлических электродов // *ЖОХ*. 1936. № 6. С. 1393.
17. Никитин Л.В. Звукоэлектрохимические явления // *ДАН СССР*. 1934. № 4. С. 309; 1936. № 11. С. 67.
18. Williams M. An Electrokinetic Transducer. *Rev. Sci. Instr.* 1948. 640 (19-18).
19. Causse J.P. Sur la décroissance avec la frequence des effets electrocinetiques alternatifs // *Compt. Rend.* 230, 826, (1950).
20. Krishnamurthy V.H. Ultrasonic Studies in Electrolytes. *Journal Sci. Ind. Res.* 1959. № 10B. С. 149.
21. Малахов А.Н., Черепенников В.В. Возбуждение электрическим полем акустических волн в электролитах за счет разделения зарядов // *Изв. Вузов. Радиофизика*. 1983. Т. 6. № 2. С. 251...253.

## REFERENCCE

1. Zacepina G.L. *Fizicheskie svoystva i struktura vody* [Physical properties and structure of the water]. Moscow University publishing, 1998, 185 p.
2. Eizenberg D., Kautzman V. *Struktura i svoystva vody* [Structure and properties of water]. Leningrad: Hydrometeoizdat publishing. 1975. 206 p.
3. Erdei-Gruz T. *Yavleniya perenosa v vodnykh rastvorakh* [Transport phenomenon in aqueous solutions]. М.: Mir [Moscow: Publishing House «Peace»], 1976. 595 p.
4. Samoylov O.Y. *Struktura vodnykh rastvorov elektrolitov i gidratatsiya ionov* [Electrolyte aqueous solutions structure and ion hydratation]. Moscow: USSR Academy of Sciences Publishing House, 1957.
5. Antonchenko V.Y., Davyidov A.S., Ilyin V.S. *Osnovy fiziki vody* [Basics of water physics]. Kyiv: Naukova dumka, 1991. 669 p. (In Russian).

6. Smirnov A.N. Generatsiya akusticheskikh kolebaniy v khimicheskikh reaktsiyakh i fiziko-khimicheskikh protsessakh [Acoustic emission during chemical reactions and physical-chemical processes]. *Ros. Khim. zhurnal* [Russian chemical journal]. 2001. Vol. 45. P. 29...34.
7. Smirnov A.N. Struktura vody: novye eksperimental'nye dannye [Water structure: new experimental data]. *Nauka i tekhnologii dlya promyshlennosti* [Science and Technologies for the industry]. 2010. № 4. P. 41...45.
8. Kuznetsov D.M., Gaponov V.L., Smirnov A.N. O vozmozhnosti issledovaniya kinetiki fazovykh perekhodov v zhidkoy srede metodom akusticheskoy emissii [About possibility of research of phase transitions kinetics in liquid substance by the acoustic emission method]. *Inzhenernaya fizika* [Engineering physics]. 2008. № 1. P. 16...20.
9. Smirnov A.N., Savin A.V., Sigov A.S. Emulons and solitons into the water. Applied physics and mathematics. 2013. № 1. P. 74...79.
10. Holmogorov V.E. et al. // NII Physics SPb SU Old Petergof, 2005.
11. Sankin G.N., Teslenko N.V. Inertsionnost' izmeneniya elektroprovodnosti vody v slabykh postoyannykh magnitnykh pol'yakh [The electrical conductivity alteration into the water at weak magnetic fields]. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki* [J. Technical Physics]. Vol. 70. № 3. P. 63...65.
12. Klassen V.I. *Omagnichivanie vodnykh sistem* [The magnetic fields have effect on the water]. M.: Химия [Moscow: Publishing House «Chemistry»], 1978, 240 p.
13. Aleksandrov F., Ruxadze A.A. *Lektsii po elektrodinamike plazmopodobnykh sred* [The lectures on the electrodynamic of the plasmsimilarity environments]. Moscow University publishing, 1999, 334 p.
14. Landau L.D., Liphshits E.M. *Elektrodinamika sploshnykh sred* [The electrodynamic of the continuous environments]. Moscow: SPhML, 1959, 587 p.
15. Marakov V.V. *Fiziko-khimicheskie osnovy bezreagentnoy obrabotki vodno-solevykh sistem s primeneniem EMP nizkoy chastoty* [The physical-chemical principles using EMF low frequently for processing the water environments]. Ekaterinburg-Berezniki, 2011, 179 p.
16. Nikitin L.V. K voprosu o kharakteristike zvukoaktivnykh sostoyaniy nekotorykh metallicheskikh elektrodov [About sound-ranger of the metallic electrods]. *ZhOKh* [J. Basic Chemistry]. 1936. № 6. 1306 p.
17. Nikitin L.V. Звукоэлектрохимические явления [The soundelectricalchemical effects]. *DAS USSR*. 1934. Vol. 4. p. 309; 1936. Vol. 11. P. 67.
18. Williams M. An Electrokinetic Transducer. *Rev. Sci. Instr.* 1948. 640 (19-18).
19. Causse J.P. Sur la décroissance avec la frequence des effets electrocinetiques alternatifs // *Compt. Rend.* 230, 826, (1950).
20. Krishnamurthy B.H. Ultrasonic Studies in Electrolytes. *Journal Sci. Ind. Res.* 1959. № 10B. P. 149.
21. Malaxov A.N., Cherepennikov V.V. Vozbuzhdenie elektricheskim polem akusticheskikh voln v elektrolitakh za schet razdeleniya zaryadov [The sound wave excite by the electrical field in Electrolytes by means of separate electric charge]. *Izv. Vuzov. Radiofizika* [Proceedings Higher Educational Institutions – Radiophysics]. 1983. Vol. 6. № 2. P. 251...253.

---



---

## Сведения об авторах

**Смирнов Александр Николаевич**, канд. хим. наук, профессор

E-mail: a.n.smirnov@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики»  
119454, Москва, Российская Федерация, пр. Вернадского, 78

**Самхарадзе Тамаз Георгиевич**, доктор техн. наук, профессор

Институт общей физики РАН

119991, Москва, Российская Федерация, ул. Вавилова, 38

## Information about authors

**Smirnov Alexander N.**, Cand. of Chem. Sciences, Professor

E-mail: a.n.smirnov@mail.ru

MIREA

119454, Moscow, Russian Federation, Vernadskogo pr., 78

**Samkharadze Tamaz G.**, Doctor of Techn. Sciences, Professor

Prokhorov General Physics Institute RAS

119991, Moscow, Russian Federation, Vavilova str., 38