

УДК 691.54.002:544.6

*ГОРЛЕНКО НИКОЛАЙ ПЕТРОВИЧ, докт. техн. наук, профессор,
Gorlen52@mail.ru*
*САФРОНОВ ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ, канд. техн. наук, доцент,
v.n.safronov@mail.ru*
*АБЗАЕВ ЮРИЙ АФАНАСЬЕВИЧ, докт. физ.-мат. наук, профессор,
abzaev@tsuab.ru*
*САРКИСОВ ЮРИЙ СЕРГЕЕВИЧ, докт. техн. наук, профессор,
yu-s-sarkisov@yandex.ru*
*КУГАЕВСКАЯ СОФЬЯ АЛЕКСАНДРОВНА, ст. преподаватель,
samano@mail.ru*
*ЕРМИЛОВА ТАТЬЯНА АЛЕКСАНДРОВНА, студентка,
ermilovatatyana@icloud.com*
*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2*

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ КАК ФАКТОР УПРАВЛЕНИЯ СВОЙСТВАМИ И СТРУКТУРОЙ ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ. ЧАСТЬ 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ*

Рассмотрены теоретические аспекты влияния магнитного поля на развитие процессов гидратации и структурообразования цементных систем. Показана принципиальная возможность применения низкоэнергетического внешнего воздействия для управления свойствами и структурой цементного камня. Установлено, что путем предварительной обработки воды магнитным полем при использовании ее в качестве жидкости затворения цементных систем происходит изменение как структурно-фазового состояния цементного камня, так и последовательности формирования новообразований. Показано, что изотопный состав воды, содержание в воде примесей и растворенных газов существенно влияют на отклик жидкой среды на внешнее воздействие.

Ключевые слова: цемент; вода затворения; магнитное поле; гидратация; структурообразование; внешнее воздействие; физико-химические процессы; структурно-фазовое состояние; цементный камень.

*NIKOLAI P. GORLENKO, DSc, Professor,
Gorlen52@mail.ru*
*VLADIMIR N. SAFRONOV, PhD, A/Professor,
v.n.safronov@mail.ru*
*YURII A. ABZAEV, DSc, Professor,
abzaev@tsuab.ru*
*YURII S. SARKISOV, DSc, Professor,
yu-s-sarkisov@yandex.ru*
SOF"YA N. KUGAEVSKAYA, Senior Lecturer,

* Исследование выполнено при финансовой поддержке работ по гранту Министерства образования и науки Российской Федерации.

somana@mail.ru

TAT'YANA A. ERMILOVA, Student,

ermilovatatyana@icloud.com

Tomsk State University of Architecture and Building,

2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia

MAGNETIC FIELD AS FACTOR OF CONTROL FOR STRUCTURE AND PROPERTIES OF CEMENT SYSTEMS. PART 1. THEORETICAL PREREQUISITES FOR MAGNETIC EFFECT ON PHYSICOCHEMICAL PROCESSES

The paper presents theoretical aspects of the magnetic effect on the development of hydration processes and structure formation of cement systems. The principal opportunity of using low-energy external effect to control the structure and properties of cement stone is shown in this paper. It is stated that the pre-treatment of water using the magnetic field and its use as a mixing water for cement systems result both in the structural and phase modification of cement stone and the new formations. Isotopic water composition, impurities and solution gases contained in water have a great influence on the liquid medium response to the environment.

Keywords: cement; mixing water; magnetic field; hydration; structure formation; external load; physicochemical properties; structural and phase state; cement stone.

К настоящему времени накопилось достаточно много экспериментальных данных, убедительно доказывающих эффективность магнитного поля при осуществлении различных физико-химических процессов. Надежно зафиксированы изменения структурных, оптических, кинетических, магнитных и других физико-химических свойств исследуемых систем [1–18]. При этом наблюдается преимущественная интенсификация процесса, хотя в отдельных случаях отмечаются и качественные изменения. Например, в работе [1] показано, что при воздействии магнитным полем невысокой напряженности возрастает не только скорость полимеризации стирола в 6–8 раз, но и повышается молекулярная масса полимера.

Объяснение эффектов магнитно-полевого воздействия основано на фундаментальных законах химии. Рассматривается взаимодействие внешнего поля с компонентами дисперсной системы как на микроуровне – с позиций перестройки электронных оболочек, так и на макроуровне, где моделируются структурные макроскопические образования.

По мнению А.Л. Бучаченко [1], в настоящее время создана надежная теория, способная прогнозировать масштабы и проявление магнитных эффектов. При этом выделяются: 1) магнитные эффекты первого поколения, в основе которых лежат представления о спиновой конверсии электронных пар, селективности ядерного спина, химической поляризации электронов и ядер; 2) магнитные эффекты второго поколения, основанные на представлении о химической реакции как генераторе, так и приемнике электромагнитных волн. В зависимости от селективности по отношению к радикальным парам получают либо магнитный резонанс, детектированный по продуктам химической реакции, либо индуцированный изотопный эффект; 3) магнитные эффекты третьего поколения являются комбинированным случаем магнитных эф-

эффектов 1-го и 2-го поколений. В данном случае эффекты возможны при манипулировании электронными и ядерными спинами, инициируемые непосредственно химическими реакциями. Фундаментальной основой данных представлений являются законы и постулаты квантовой механики.

Среди компонентов цементных систем наиболее технологически доступно и экономически целесообразно влиять на дисперсионную среду – жидкость затворения. В качестве последней обычно используют воду, водно-солевые растворы, а также суспензии или эмульсии специальных веществ в воде.

В настоящее время в литературных источниках приводятся многочисленные данные об изменении различных свойств воды и водно-солевых растворов после воздействия магнитным полем. При этом основные трудности теоретического обоснования наблюдаемых эффектов заключаются в несопоставимости энергии магнитного поля, вносимого в систему при использовании средних величин магнитной индукции (до 1 Тл), и энергии теплового движения, на фоне которого проявляются процессы активации. Отсюда следует вывод, что влияние магнитного поля в общем случае связано с такими превращениями в системе, при которых ее энергия изменяется незначительно, а проявление эффектов является следствием понижения энергии активации, достаточной для перехода системы из одного состояния в другое.

Из всего комплекса гипотез, так или иначе объясняющих поведение физико-химических систем во внешнем магнитном поле, можно выделить следующее:

- 1) магнитное поле влияет непосредственно на структурную организацию воды;
- 2) эффект магнитной обработки обусловлен присутствием примесей газов или ионов солей, преимущественно парамагнитной природы или способных образовывать частицы коллоидных размеров;
- 3) магнитное поле влияет на процессы массопереноса и массообмена в вязко-текучих жидкостях;
- 4) молекулы воды, их ассоциаты, гидратированные ионы совершают непрерывные колебательные движения, которым соответствует определенный колебательный уровень. При воздействии на эту систему полем оптимальной частоты возможен резонанс с определенной группой молекул и ассоциатов с возникновением квантов энергии, способных деформировать связи, изменять структурную характеристику системы.

Рассмотрим первую группу гипотез, основанных на изменении структурной организации воды или водно-солевого раствора.

Одним из наиболее информативных и простых в техническом исполнении методов обнаружения изменения структурных свойств воды являются ИК- и УФ-спектроскопические методы исследования. В работе [19] показано, что обработка магнитным полем (0,3 Тл) проточной высокоомной воды приводит к образованию сильных водородных связей. Косвенно это подтверждается изменением объема водоспиртовой смеси, приготовленной на обработанной в магнитном поле воде. Образование упрочненных водородных связей между молекулами растворителя приводит к увеличению волнового числа

деформационных колебаний связанных молекул воды (1654 см^{-1}) по сравнению со свободными (1634 см^{-1}). Изменение концентрации кислорода в воде практически не сказывается на положении максимумов интенсивности полос поглощения. Последние уменьшаются с увеличением напряженности магнитного поля. Эффект обработки сохраняется в течение 24 ч. В работе [20] наблюдалось более чем 50%-е изменение интенсивности поглощения воды, подвергнутой воздействию внешним полем. Предполагается, что воздействие магнитным полем приводит к укрупнению и упрочнению молекулярных ассоциатов воды, и при увеличении напряженности магнитного поля размеры кластеров увеличиваются, а концентрация окружающей их мономерной воды уменьшается. При снятии же поля наблюдается не мгновенное, а постепенное возвращение структуры воды в первоначальное состояние. Согласно [16], эффект действия магнитного поля тем больше, чем выше структурированность воды.

Следует отметить, что не все авторы согласны с подобной точкой зрения и связывают наблюдаемые эффекты с химическими преобразованиями в системе. Например, в работе [21] показано, что в активированной магнитным полем бидистиллированной воде вращательные спектры ее паров изменяются в области $327\text{--}323$, $282\text{--}276$ и $111\text{--}60 \text{ см}^{-1}$. Авторы объясняют полученные результаты возможным образованием пероксида водорода и гидроксидных групп.

Утверждение ряда авторов о том, что после снятия внешних воздействий все вызванные ими изменения должны немедленно исчезнуть (в течение $\approx 10^{-9}$ с), а система должна самопроизвольно вернуться в исходное состояние, экспериментально не подтверждается. Известно достаточное количество фактов, свидетельствующих о структурной релаксации как очищенной воды, так и содержащей растворенные примеси, в том числе и газы [22–23]. Результаты исследований методом ЯМР показали наличие замедленной релаксации воды, что предложено трактовать как результат проявления фрактальных структур.

Формирование макроскопических образований отмечается также в работах [24–25]. О процессах упорядочения водно-солевых систем говорят и другие косвенные результаты. В статье [26] показано, что температура замерзания воды, прошедшей магнитную обработку, повышается, а время кристаллизации сокращается на 25–40 %.

Энергия магнитного поля с величиной магнитной индукции до 1 Тл, согласно термодинамическим расчетам, не оказывает существенного влияния на кинетику химических реакций. Вклад магнитного поля в изменение константы равновесия незначителен:

$$\ln K = \frac{1}{RT} \sum_{i=1}^N \nu_i \left(\mu_i^0 - \frac{\mu_0 \chi}{2} B^2 \right).$$

При $\chi = 10^{-4}\text{--}10^{-6}$ для большинства парамагнитных частиц величина магнитной индукции прогнозируется значением $10^2\text{--}10^3$ Тл, достижение которой является достаточно сложной технической задачей. Тем не менее, за-

висимость эффектов магнитной обработки от присутствия диа- или парамагнитных частиц [27, 28] заставляет исследователей обращать внимание на проявление указанных закономерностей. Анализируя комплекс работ в данном направлении, авторы [27] приходят к выводу, что если сумма магнитных восприимчивостей продуктов реакции больше, чем сумма магнитных восприимчивостей исходных веществ, то магнитное поле ускоряет реакцию. По данным [29] наибольший эффект активации воды магнитным полем достигается тогда, когда в воде содержатся преимущественно парамагнитные ионы. Сама вода – диамагнитное вещество и характеризуется небольшим значением магнитной восприимчивости. Поскольку кислород является парамагнитным веществом, то его присутствия в количестве $\sim 10^{-3}$ мг/дм³ достаточно, чтобы рассматривать воду как систему с диа- и парамагнитными свойствами [30]. Магнитная восприимчивость воды при увеличении концентрации растворенного в ней кислорода до 30 мг/дм³ увеличивается в 3–4 раза при напряженности поля 0,2 Тл и в 15–17 раз – при 0,8 Тл [31].

По мнению ряда авторов, основная причина проявления эффектов магнитной обработки растворов, содержащих растворенные пара- или диамагнитные частицы, связана с изменением структурной организации водных растворов, заключающимся в нарушении гидратного окружения ионов. Это приводит к изменению вязкости раствора и размеров сольватированных частиц, увеличению их подвижности и, соответственно, реакционной способности веществ. Ионы с нарушенной гидратной оболочкой становятся массовыми центрами кристаллизации. Количественно изменение гидратационных процессов можно оценить по изменению энтропии, энтальпии и других термодинамических функций.

Рассмотрим третью группу гипотез.

Достаточно обширный комплекс работ посвящен рассмотрению взаимодействия магнитного поля с движущейся жидкостью с позиций физической гидродинамики [32–38]. Она дает уравнения движения для временных корреляционных функций флуктуирующих величин: плотности числа частиц, плотности импульса и плотности энергии.

Влияние магнитного поля на поток электропроводящей жидкости между двумя параллельными плоскостями приводит к перераспределению скоростей, объемной плотности заряда и потенциала. На основе сложных математических расчетов получены уравнения:

– профиля скорости:

$$V_y = V_0 \left(1 - \frac{y^2}{a^2} \right),$$

где $V_0 = V_{\max} \frac{1}{2} \operatorname{Re} \frac{dP}{dz_+} a^2$; Re – число Рейнольдса; P – объемная масса компо-

ненты раствора;

– объемной плотности заряда:

$$\rho^+ = \frac{2BV_0(\alpha^2\Omega)^{1/2}}{y_0^2} \left[y_+ \frac{shy_+}{chy_+} \right],$$

где Ω – проводимость раствора; B – величина магнитной индукции;
– потенциала:

$$\bar{\Psi}_+ = \frac{2BV_0}{y_{+0}^2(\alpha^2\Omega_+)^{1/2}} \left[\frac{chy_+}{ch_{+0}} + \frac{1}{2}(y_{+0} - 2)y_+ - \frac{1}{6}y_+^3 \right].$$

Представленные уравнения позволяют определять изменение локальных и мгновенных скоростей в электролитах (при исключении трехмерного развития потока) по значениям потенциала, что является неоспоримым теоретическим доказательством его возникновения при данных условиях проведения эксперимента.

Следует отметить, что в литературе имеются попытки проведения такого анализа [39] по части указанной задачи. Особенно интересные результаты получены для случая использования скрещенных электрического и магнитного полей. В основе теоретического обоснования лежит утверждение, что всякий движущийся заряд обладает магнитным моментом и способен создавать собственное магнитное поле в окружающем пространстве. Величина напряженности поля, создаваемого зарядом, определяется законом Био – Савара – Лапласа:

$$H = \frac{eV \sin^2 \alpha}{4\pi r^2}.$$

Взаимодействие внешнего магнитного поля с заряженной частицей оказывает существенное влияние на электроперенос металла в электрохимических ячейках. Основной причиной проявления эффекта является развитие стационарного конвективного течения жидкости за счет объемной силы: $F = [\vec{j} \times \vec{H}]$, где j – объемная плотность тока; H – напряженность магнитного поля.

Скорость движения жидкости определяется уравнением: $V = \frac{1}{c} \frac{IHB}{4\pi h\eta} \sin^2 \omega t$, где B – параметр, зависящий от геометрических размеров ячейки.

Так как $\sin^2 \omega t$ всегда > 0 , то и скорость стационарного потока будет > 0 , причем на него будут наложены гидродинамические колебания, определяемые скоростью V_k : $V_k = \frac{1}{c} \frac{IHB}{8\pi h\eta} \sin 2\omega t$ с амплитудой $A = \frac{1}{c} \frac{IHB}{16\pi h\eta}$.

Утверждается и экспериментально подтверждено, что частоты колебаний находятся в пределах акустического диапазона [40], а величина эффектов имеет частотную зависимость. При воздействии магнитного поля определен-

ной частоты на раствор возможно возникновение резонансного явления с определенной группой молекулярных ассоциатов. Такое резонансное воздействие может привести к определенному ориентированию этих ассоциатов, в результате чего в растворе образуется новая структура.

Рассмотрим четвертую группу гипотез.

Резонанс – явление, проявляющееся в возрастании амплитуды вынужденных колебаний в какой-либо колебательной системе при условии приближения ее собственной частоты к таковой для периодического внешнего воздействия. Следовательно, для наблюдения явления резонанса необходимо наличие периодической внешней силы, которая в случае применения магнитного поля постоянных магнитов может достигаться с помощью особой конструкции активатора. Если структура жидкости представляет собой набор дискретных образований, для нее характерны и собственные колебательные процессы, которые при определенных условиях могут совпадать с вынужденными, что и приводит к явлениям резонанса. Указанные эффекты могут проявляться как на макроуровне, так и на микроуровне системы. В данной работе рассматриваются процессы, протекающие на уровне образования макрокинетических ассоциатов.

Однако все существующие теории не объясняют в полной мере:

1) зависимость эффектов магнитной обработки от скорости потока жидкости, типа устройства активатора, величины магнитной индукции, температуры раствора и др.;

2) влияние природы, концентрации неорганических примесей и растворенных газов на эффективность процессов активации;

3) эффект релаксации возбужденной термодинамической системы в исходное состояние в течение длительного времени, неэквивалентный времени трансляционных переходов в структуре воды.

Таким образом, многочисленные исследования в лабораторных и промышленных условиях в течение последних десятилетий достоверно указывают на изменение физико-химических свойств в системе, происходящее в воде после магнитной обработки. При этом можно выделить ряд характерных особенностей:

1) необходимость движения жидкости в магнитном поле;

2) зависимость эффектов от скорости потока жидкости и величины магнитной индукции;

3) релаксация во времени полученных эффектов в интервале от нескольких часов до нескольких суток.

Безусловно, эффект омагничивания воды зависит не только от нативной структуры и состава воды в жидком агрегатном состоянии, но и от изотопного состава среды, наличия микропримесей и микровключений, содержания растворимых газов и их роли в формировании кластерных структур.

Влияние магнитной активации воды затворения на свойства композитов с минеральной матрицей и на течение процессов их структурообразования связывается как с изменением свойств самого объекта обработки, так и с интенсивностью и степенью перестройки структуры, и с изменением степени гидратации цемента по твердой и жидкой фазам.

Поверхность воды представляет собой межфазную границу, отделяющую воду от других тел. Жидкая вода всегда содержится в каком-либо сосуде, где часть воды контактирует с его стенками, с поверхностью раздела «вода – воздух», тогда как другая часть воды – «объемная вода» – удалена от стенок сосуда. Отмечается, что вода, контактирующая со стенками или газовой фазой, так называемая пограничная вода, отличается по многим свойствам от «объемной» воды [41]. Кроме того, любая вода всегда содержит неводные компоненты, например растворенные в воде молекулы и ионы, газовые пузырьки разных размеров, включая невидимые – нанопузырьки, наночастицы различной химической природы. В результате исследований последних лет установлено, что подобные примеси наноразмерной величины существенно влияют на физические и химические свойства воды даже в исчезающе малых количествах [42].

Объем пограничной воды, формирующейся у границ раздела воды со стенками сосуда и с газовыми фазами, воды, гидратирующей присутствующими в воде примесями, может быть регулируемым и составлять значительную долю от всей воды в данной водной системе. Пограничная вода организована, в определенном понятии структурирована. Однако, в отличие от жестко структурированного льда, пограничная вода остается жидкой и проявляет свойства жидкокристалличности. Этим она отличается и ото льда, и от воды, с которой она непосредственно контактирует, – от значительно более аморфной «объемной» воды.

В настоящее время известно, что фундаментальным свойством водных систем, в которых существует организованная, жидкокристаллическая и аморфная вода, является наличие разности электрических потенциалов, которая может достигать долей вольт. При этом жидкокристаллическая вода, прилегающая к гидрофильным поверхностям, имеющая в ряде случаев толщину в десятки и сотни микрон, как правило, заряжена отрицательно, т. е. имеет избыток электронов [43]. К этому следует добавить, что согласно модели, предложенной в работе [44], поверхность воды имеет отрицательный электрический потенциал, обусловленный накоплением гидроксильных ионов HO^- . Противоположно заряженные ионы гидроксония H_3O^+ притягиваются к отрицательно заряженной поверхности воды, формируя двойной электрический слой. По этой причине мелкие газовые включения, взвешенные в воде, приобретают, как правило, отрицательный заряд и взаимно отталкиваются друг от друга [45].

Исследованиями установлено, что и «объемная вода», находящаяся на значительном расстоянии от границ раздела воды со стенками и границей раздела «вода – воздух», может быть существенно неоднородной. В чистой «объемной» воде присутствуют стабильные отрицательно заряженные водные кластеры размерами от десятков нанометров до многих микрон. Такие кластеры возможно выделить из воды, т. к. они не испаряются в течение длительного времени даже в тепле [46]. Таким образом, и «объемная» вода может быть суспензией, в которой существуют два типа водных структур. Одна из этих структур представляет собой организованную жидкокристаллическую фазу, а другая – аморфную воду. Это значит, что «реальная» вода – это крайне

неравновесная система, в которой между разными водными фазами всегда существуют электрические и другие градиенты.

Организованная водная фаза является потенциальным донором электронов, т. е. восстановителем [47]. Поскольку она обладает свойствами жидкого кристалла, она служит плохим растворителем даже для тех веществ, которые хорошо растворяются в воде. Эти вещества должны быть растворены в аморфной воде. Если в водной системе создаются условия для тока электронов из отрицательно заряженной водной фазы на акцепторы электронов, присутствующие в аморфной воде, потенциальная энергия, запасенная в электрических градиентах, может превратиться в свободную энергию. Последняя может быть использована для выполнения работы как внутри водной системы, так и вне ее.

В любой воде всегда присутствует растворенный кислород, являющийся универсальным окислителем. Поэтому в любой воде может в принципе осуществляться окисление жидкокристаллической воды кислородом. Окисление кислородом воды, как окисление им любого другого горючего, – это процесс, при котором электроны (атомы водорода) переносятся с окисляемого вещества, в данном случае воды, на окислитель – кислород, который при этом восстанавливается до молекул воды:



В ходе последовательного восстановления кислорода электронами образуются суточные малоустойчивые, короткоживущие соединения, обладающие высокой химической активностью. Эти продукты представляют собой свободные радикалы, перекиси, и в совокупности их называют «активные формы кислорода» (АФК). В реакциях с участием АФК освобождаются крупные порции (кванты) энергии, которые эквивалентны квантам ближнего инфракрасного, видимого и даже УФ-света. Последовательное присоединение к молекуле кислорода четырех атомов водорода, по ходу которого появляются и исчезают АФК, – это его полное восстановление до двух молекул воды. При этом на каждую восстановленную молекулу кислорода освобождается в общей сложности 8 электрон-вольт энергии [47].

Такая реакция может осуществляться только в системе, в которой сосуществуют служащая донором электронов организованная (низкоэнтропийная) водная фаза – жидкокристаллическая вода (H_2O в левой части уравнения), служащая растворителем для кислорода, и высокоэнтропийная вода (H_2O в правой части уравнения), в которой растворен кислород и которая обогащена протонами, нейтрализующими электроны. Энергия, таким образом, освобождается за счет разрушения организованной воды и увеличения энтропии в системе. Если условия для регенерации жидкокристаллической воды при ее горении сохраняются, то процесс приобретает циклический характер. Однако обычный молекулярный кислород весьма инертен, и чтобы процесс окисления воды стал осуществляться эффективно, требуется приток энергии активации, например, в виде освещения, и/или присутствие катализаторов, снижающих энергетический барьер для горения воды.

Роль такого рода катализаторов могут играть присутствующие в воде различные формы углекислоты ($\text{CO}_2 \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{HCO}_3^- \leftrightarrow \text{CO}_3^{2-}$). С одной стороны, они способствуют дополнительному структурированию воды, увеличивая разность потенциалов между двумя фазами, с другой – катализируют окисление воды благодаря своей способности участвовать в свободно-радикальных реакциях. Так, в присутствии подходящих доноров электронов одноэлектронное восстановление CO_2 до анион-радикала двуокиси углерода ($\text{CO}_2^{\bullet -}$) является термодинамически выгодным. Этот радикал является сильным восстановителем, и он может восстанавливать кислород, выступая в роли «челнока» между водной фазой, служащей донором электронов, и присутствующим в воде кислородом. С другой стороны, один из продуктов одноэлектронного окисления воды – гидроксил-радикал (HO^{\bullet}) – легко окисляет бикарбонатный анион до карбонат-анион радикала ($\text{CO}_3^{\bullet -}$). Последний способствует окислению воды и перекиси водорода. Возникает сеть сопряженных и стабилизирующих друг друга окислительно-восстановительных реакций, в ходе которых генерируется энергия электронного возбуждения. Все эти процессы имеют циклический характер, и при их протекании в замкнутой системе не происходит расходования реагентов – воды, кислорода и углекислоты. Реакции с участием АФК и активных форм углекислоты сопровождаются выделением энергии высокой плотности световых фотонов, и если «горение» воды действительно имеет место, то оно должно сопровождаться появлением излучения большей или меньшей интенсивности [48].

Интенсивность протекающих в воде окислительно-восстановительных процессов, определяющая энергонасыщенность (активность) воды, может изменяться в достаточно широких пределах. Она зависит от ее солевого состава, наличия в воде наночастиц и нанопузырьков, структурирующих водную систему, от предыстории водной системы, например, воздействия на нее механических, магнитных, электромагнитных и других видов полей.

Особый интерес представляет оценка эффекта влияния магнитного поля на процессы гидратации и твердения оксидных и цементных систем [49, 50].

Схематично процесс гидратации представлен на рис. 1.

Рассмотрим ориентационные процессы в выбранных физико-химических системах. В постоянном магнитном поле на диполи молекул воды действует момент сил, который стремится сориентировать частицу относительно силовых линий магнитного поля. В первоначальный момент, когда молекулы воды находятся в свободнодиффузионной стадии, вращательная энергия которых сопоставима с энергией магнитного поля, происходит образование структур твердения, инициированных действием магнитного поля. По мере развития процессов образования структур твердения, сопровождаемых уменьшением диэлектрической проницаемости воды, возрастает энергия взаимодействия между частицами активной фазы, которая окружается определенным количеством диполей воды, которые связываются с последней силами электростатического и химического взаимодействия. В результате химической реакции между частицами возникает диполь-дипольное взаимодействие; по мере уменьшения диэлектрической проницаемости более далеких слоев

воды появляется ион-дипольное взаимодействие, которое в дальнейшем приводит к ион-ионному взаимодействию.

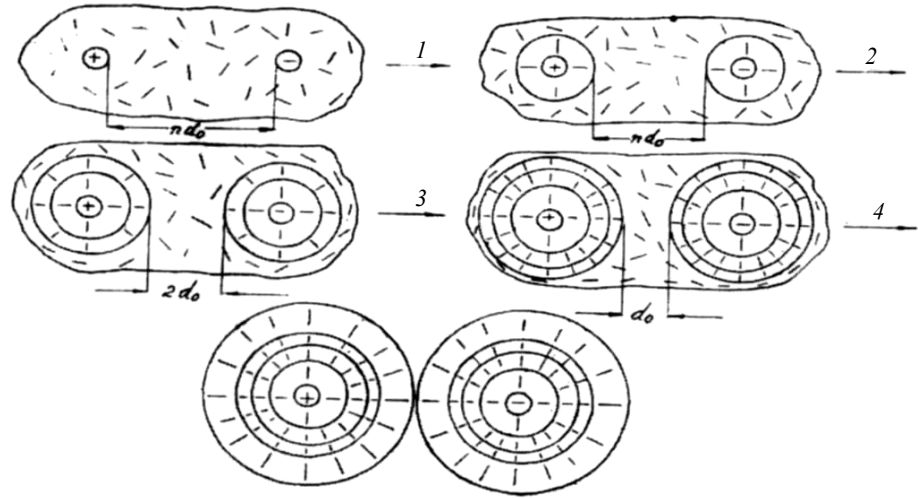


Рис. 1. Схема элементарных актов гидратации оксида в магнитном поле:
1 – возникновение первичной гидратной сферы; 2, 3 – проявление сил диполь-дипольного взаимодействия; 4 – проявление сил ион-ионного взаимодействия; d_0 – диаметр молекул воды

Оценка сил, проявляющихся в процессе твердения, в условиях наложения постоянного однородного магнитного поля показывает, что сила действия магнитного поля напряженностью 8×10^3 А/м на диполь воды равна 10^{-29} Н. Сила диполь-дипольного взаимодействия, осуществляемого в первоначальный момент (рис. 1), равна $F_{д-д} = d_m z e^2 / \epsilon r^3 \approx 1,0 \cdot 10^{-31}$ Н, где $E_{д-д}$ – сила диполь-дипольного взаимодействия; d_m – дипольный момент молекулы воды; ze – заряд частицы; ϵ – диэлектрическая проницаемость среды; r – радиус области взаимодействия зарядов.

Сила ион-дипольного ($F_{и-д}$) взаимодействия по мере развития процессов структурообразования и при уменьшении прослойки воды до двух слоев: $F_{и-д} = z e^2 d_m / \epsilon r^2 \approx 1,0 \cdot 10^{-30}$ Н. Сила ион-дипольного взаимодействия при уменьшении прослойки воды до одного слоя (рис. 1) $F_{и-д} = z e^2 d_m / \epsilon r^2 \approx 1,4 \cdot 10^{-30}$ Н.

Сила ион-ионного ($F_{и-и}$) взаимодействия, осуществляемая силами электростатического характера: $F_{и-и} = z e^2 / \epsilon r^2 \approx 5,0 \cdot 10^{-20}$ Н.

Как видно из сравнительной оценки сил структурообразования и внешних сил, магнитное поле указанной напряженности способно конкурировать с физико-химическими процессами при гидратации и твердении оксидов вплоть до последней стадии – стадии образования конечных структур. При

развитии процессов ион-ионного взаимодействия сил влияние магнитного поля падает и в конечном счете нивелируется.

Таким образом, теоретически и экспериментально подтверждается возможность влияния слабых магнитных полей на физико-химические процессы в дисперсных системах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бучаченко, А.Л. Химия на рубеже веков. Свершения и прогнозы / А.Л. Бучаченко // Успехи химии. – 1999. – Т. 68. – № 2. – С. 99–118.
2. Железцов, А.В. Магнитные явления в растворах / А.В. Железцов // Электронная обработка материалов. – 1976. – № 4. – С. 25–31.
3. Киргинцев, А.Н. К вопросу о влиянии магнитного поля на физико-химические свойства растворов / А.Н. Киргинцев, В.М. Соколов, В.И. Ханаев // ЖФХ. – 1968. – Т. 48. – С. 301–303.
4. Миненко, В.И. О физико-химических основах магнитной обработки воды / В.И. Миненко, В.И. Петров // Теплоэнергетика. – 1962. – Т. 9. – С. 63.
5. Williams, M.R. Activation of molecular processes by controlled electromagnetic stimulation / M.R. Williams // American. Chemical Society. All Rights Reserved. – 1997. – 44 p.
6. Berg, H. Problems of Weak Electromagnetic-Field Effects in Cell Biology / H. Berg // Bioelectrochemistry and bioenergetics. – 1999. – V. 48. – P. 355.
7. Effects of magnetic fields on production of activated ZnO and its mechanism / Li Yang, Ma Wei, Ma Rongjun, Ma Wenji // Dep. Polymer Science and Eng. – 1998. – № 50. – P. 85.
8. Potentiostatic current oscillations of iron in H₂SO₄ solution under the influence of Cl⁻ and magnetic fields / Wang Chao, Lei Sheng-bin, Chen Shen-hao, Yu Xi-ling // Electrochemistry. – 1999. – V. 8. – № 4. – P. 69.
9. Effects of static magnetic field on dissolved oxygen levels in aqueous solutions containing copper (II), iron (II), and heme iron (III) complexes / H. Sakurai, H. Yasui, K. Kunitomi, M. Kamatari, N. Kaneko, A. Nakayama // Athophysiology. – 2000. – V. 7. – № 2. – P. 93–99.
10. New Magnetic field enhanced process for the treatment of aqueous wastes / A.D. Ebner, J.A. Ritter, H.J. Ploehn, R.L. Kochen, J.D. Navratii // Separation science and technology. – 1999. – V. 34. – № 6. – P. 1277.
11. Киселев, В.Ф. Структурные изменения в воде после воздействия слабых переменных магнитных полей / В.Ф. Киселев, А.М. Салецкий, Л.П. Семихина // Вести Московского ун-та. Сер. 3. Физика. Астрономия. – 1990. – Т. 31. – № 2. – С. 53–58.
12. Горленко, Н.П. Низкоэнергетическая активация гомогенных и гетерогенных сред / Н.П. Горленко // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2002. – № 1. – С. 12–21.
13. Полухович, Л.Я. Исследование активированных водных растворов калия, натрия, кальция методом импеданса / Л.Я. Полухович, Н.П. Горленко // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2002. – № 1. – С. 34–40.
14. Активирующее воздействие магнитного поля на процессы структурообразования дисперсных систем / Н.П. Горленко, Е.А. Кулинич, Н.В. Алесина, Ю.С. Саркисов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2001. – № 1. – С. 5–8.
15. Горленко, Н.П. The magnetic field influence upon anion radical photochemical generation in radical media / Н.П. Горленко, Г.М. Мокроусов // III Всес. конф. «Поляризация электронов и ядер и магнитные эффекты в химических реакциях». – Новосибирск, 1981. – С. 39.
16. Горленко, Н.П. Метастабильность процессов как необходимое условие проявления эффектов магнитной обработки / Н.П. Горленко, Г.М. Мокроусов. – Деп. в ОНИИТЭХИМ. – 1982. – № 646-хп -Д82.
17. Цикловая магнитная активация газонаполненных жидких сред затворения цементных систем / В.Н. Сафронов, Ю.С. Саркисов, С.А. Кугаевская, Е.И. Цилимова // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2009. – № 4. – С. 89–99.

18. Роль цикловой магнитной обработки воды затворения в управлении свойствами и процессами гидратации и структурообразования цементных систем / В.Н. Сафронов, Н.П. Горленко, Ю.С. Саркисов, Ю.А. Абзаев, С.А. Кугаевская, Т.А. Ермилова // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – № 4. – С. 135–148.
19. Усатенко, С.Т. Влияние магнитных полей на вращательные ИК-спектры воды / С.Т. Усатенко, В.И. Морозов, В.И. Классен // Коллоидный журнал. – 1977. – Т. 39. – № 5. – С. 1018–1020.
20. Караваева, А.П. Некоторые свойства омагниченной глубокообессоленной воды / А.П. Караваева, И.К. Маршаков, А.А. Жидконожжина // Теория и практика сорбционных процессов. – Воронеж. – 1976. – Вып. 11. – С. 78–83.
21. Ершова, Г.Ф. Исследование неравновесных состояний водных растворов по инфракрасным спектрам / Г.Ф. Ершова, Н.В. Чураев // ЖФХ. – 1979. – Т. 53. – № 9. – С. 2392–2394.
22. Изменение намагниченности магнитной жидкости при образовании агрегатов / В.В. Чеканов, В.И. Дроздов, П.В. Нузубидзе [и др.] // Магнитная гидродинамика. – 1984. – № 1. – С. 3–9.
23. Варламова, Ю.Д. Исследование процессов структурообразования в магнитных жидкостях / Ю.Д. Варламова, А.В. Каплун // Магнитная гидродинамика. – 1983. – № 1. – С. 33–39.
24. Бантыш, Л.А. Особенности фазовых переходов вода-лед и вода-пар при действии постоянного магнитного поля / Л.А. Бантыш // Электронная обработка материалов. – 1977. – № 5. – С. 63–64.
25. Бойченко, В.А. К вопросу о взаимодействии воды с внешним магнитным полем / В.А. Бойченко, Е.В. Золотов, Л.Г. Сапогин. – Деп. в ОНИИТЭХИМ. – 1975. – № 710/76. – 11 с.
26. Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных растворов : сб. трудов. – Новочеркасск : Изд-во Новочеркасского политехн. ин-та, 1975. – 265 с.
27. Зятьков, А.И. К вопросу о природе свойств магнитообработанной воды / А.И. Зятьков // Ж. прикл. химии. – 1977. – Т. 50. – № 1. – С. 16–19.
28. Зеленков, В.Е. Изменение диамагнетизма воды при магнитной обработке / В.Е. Зеленков, Ю.К. Чернов // Очистка сточных и оборотных вод. – М. : Металлургия, 1971. – С. 150–160.
29. Kronenberg, K.J. Verzuge der magnetischen vvasserhandlung, die neue arzliche / K.J. Kronenberg. – 1988. – Bd. 22. – № 35. – P. 69–74.
30. Дубов, А.П. Геомагнитное поле и жизнь / А.П. Дубов. – Л. : Гидрометеоиздат, 1974. – 176 с.
31. Духанин, В.С. Исследование влияния магнитного поля на гидратацию ионов в растворах электролитов и на скорость некоторых химических реакций: автореф. дис. ... канд. хим. наук. – М., 1973. – 21 с.
32. Гак, Е.З. Влияние магнитогидродинамических явлений в электролитах на кинетику гетерогенных процессов / Е.З. Гак, Э.Х. Рохинсон, Н.Ф. Бондаренко // Электронная обработка материалов. – 1977. – № 4. – С. 62–66.
33. Гак, Е.З. Гидродинамические эффекты в водных средах в электрических и магнитных полях / Е.З. Гак // Инженерно-технический журнал. – 1982. – Т. XLIII. – № 1. – С. 140–153.
34. Евдокимов, В.Б. Физико-химические основы магнитогидродинамической деминерализации жидкостей / В.Б. Евдокимов, С.Д. Манукян // ЖФХ. – 1975. – Т. XLIX. – Вып. 3. – С. 569–578.
35. O' Brien, K.N. Magnetic field on the growth on the diffusion layer at vertical electrodes during electrodeposition / K.N. O' Brien, K.S. Santhanam // J. Electrochem. Soc. – 1982. – V. 129. – № 6. – P. 1266–1268.
36. Guraichi, M.S. A technigue for the study of flow patterns in electrolysis / M.S. Guraichi, T.Z. Eahidy // J. Electrochim. Soc. – 1980. – V. 127. – P. 666.
37. Евдокимов, В.Б. Исследование поперечных и продольных эффектов в растворах электролитов / В.Б. Евдокимов, С.Д. Манукян, В.Г. Тихомиров // ЖФХ. – 1978. – Т. 52. – № 1. – С. 225–227.
38. Влияние магнитного поля на электропроводность растворов электролитов в гетерогенных системах / П.А. Александров, И.С. Грамберг, Л.М. Мarmorштейн, В.Е. Казаринов, В.С. Крылов // ДАН СССР. – 1983. – Т. 268. – № 4. – С. 848–850.
39. Гак, Е.З. О применении магнитогидродинамических эффектов в электролитах для моде-

- лирования некоторых процессов переноса / Е.З. Гак, Г.Р. Рик // ЖТФ. – 1968. – Т. 38. – № 5. – С. 931–934.
40. *Noninski, C.J.* Copper deposition and overvoltage in magnetic field in the tafel potential region / C.J. Noninski, V.C. Noninski, V.J. Terziyski // *Renn. Soc. int. electrochim.*, Lion, f-10 sept. – 1982. – V. 2. – P. 939–941.
41. *Surfaces and interfacial water: evidence that hydrophilic surfaces have long-range impact* / J.M. Zheng, W.C. Chin, E. Khijniak [etc.] // *Adv Colloid Interface Sci.* – 2006. – V. 127. – P. 19–27.
42. *The effect of rf-irradiation on electrochemical deposition and its stabilization by nanoparticle doping* / Y. Katsir, L. Miller, Y. Aharonov [etc.] // *Journal of the Electrochemical Society*, 154[4]: D249-D259 (2007).
43. *Role of proton gradients in the mechanism of osmosis* / Q. Zhao, K. Ovchinnikova, B. Chai [etc.] // *J. Phys Chem B.* – 2009. – Aug 6. – 113 (31): 10708-14.
44. *Collacicco, G.* Electrical potential of the water surface / G. Collacicco // *Chemica Scripta.* – 1988. – № 2. – V. 28. – P. 141–144.
45. *Андреев, В.Г.* Влияние поверхностного потенциала воды на реологические свойства дисперсных систем / В.Г. Андреев // Книга докладов Международного симпозиума «Надежность и качество». – Пенза, 2004. – С. 385–386.
46. *Lo, S.Y.* Evidence for the existence of stable-water-clusters at room temperature and normal pressure / S.Y. Lo, X. Geng, D. Gann // *Physics Letters A.* – 2009. – V. 373. – P. 3872–3876.
47. *Воейков, В.Л.* Ключевая роль устойчиво неравновесного состояния водных систем в биоэнергетике / В.Л. Воейков // Российский химический журнал (Журнал РХО им. Д.И. Менделеева). – 2009. – Т. LIII. – № 6. – С. 41–49.
48. *Активированные перекисью водорода водные растворы бикарбонатов – долговременные источники низкоинтенсивного излучения, реагирующие на слабые и сверхслабые воздействия* / Д.М. Ха, О.Г. Мухитова, Н.Д. Виленская [и др.] // *Биомедицинская радиоэлектроника.* – 2011. – № 2. – С. 28–38.
49. *Мокроусов, Г.М.* Физико-химические процессы в магнитном поле / Г.М. Мокроусов, Н.П. Горленко. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 1988. – 128 с.
50. *Горленко, Н.П.* Низкоэнергетическая активация дисперсных систем / Н.П. Горленко, Ю.С. Саркисов. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2011. – 264 с.

REFERENCES

1. *Buchachenko A.L.* Khimiya na rubezhe vekov. Sversheniya i prognozy [Chemistry at the turn of centuries. Accomplishment and forecasts]. *Russ. Chem. Rev.* 1999. V. 68. No. 2. Pp. 99–118. (rus)
2. *Zheleztsov A.V.* Magnitnye yavleniya v rastvorakh [magnetic phenomena in mortars]. *Elektronnaya obrabotka materialov.* 1976. No. 4. Pp. 25–31. (rus)
3. *Kirgintsev A.N., Sokolov V.M., Khanaev V.I.* K voprosu o vliyani magnitnogo polya na fiziko-khimicheskie svoystva rastvorov [Towards the magnetic effect on physicochemical properties of mortars]. *Russian Journal of Physical Chemistry A.* 1968. V. 48. Pp. 301–303. (rus)
4. *Minenko V.I., Petrov V.I.* O fiziko-khimicheskikh osnovakh magnitnoi obrabotki vody [Physicochemical basics of magnetic water processing]. *Thermal Engineering.* 1962. V. 9. P. 63. (rus)
5. *Williams M.R.* Activation of molecular processes by controlled electromagnetic stimulation. American. Chemical Society. All Rights Reserved. 1997. 44 p.
6. *Berg H.* Problems of Weak Electromagnetic-Field Effects in Cell Biology. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics.* 1999. V. 48. P. 355.
7. *Li Yang, Ma Wei, Ma Rongjun, Ma Wenji.* Effects of magnetic fields on production of activated ZnO and its mechanism. *Dep. Polymer Science and Eng.* 1998. No. 50. P. 85.
8. *Wang Chao, Lei Sheng-bin, Chen Shen-hao, Yu Xi-ling.* Potentiostatic current oscillations of iron in H₂SO₄ solution under the influence of Cl⁻ and magnetic fields. *Electrochemistry.* 1999. V. 8. No. 4. P. 69.
9. *Sakurai H., Yasui H., Kunitomi K., Kamatari M., Kaneko N., Nakayama A.* Effects of static magnetic field on dissolved oxygen levels in aqueous solutions containing copper (II), iron (II), and heme iron (III) complexes. *Pathophysiology.* 2000. V. 7. No. 2. Pp. 93–99.

10. Ebner A.D., Ritter J.A., Ploehn H.J., Kochen R.L., Navratil J.D. New magnetic field enhanced process for the treatment of aqueous wastes. *Separation Science and Technology*. 1999. V. 34. No. 6. P. 1277.
11. Kiselev V.F., Saletskii A.M., Semikhina L.P. Strukturnye izmeneniya v vode posle vozdeistviya slabykh peremennykh magnitnykh polei [Structural modification of water subjected to weak variable magnetic fields]. *Moscow University Physics Bulletin*. 1990. V. 31. No. 2. Pp. 53–58. (rus)
12. Gorlenko N.P. Nizkoenergeticheskaya aktivatsiya gomogennykh i geterogennykh sred [Low-energy activation of homogeneous and heterogeneous media]. *Vestnik TSUAB*. 2002. No. 1. Pp. 12–21. (rus)
13. Polyukhovich L.Ya., Gorlenko N.P. Issledovanie aktivirovannykh vodnykh rastvorov kaliya, natriya, kal'tsiya metodom impedansa [A study of activated aquatic solutions of K, Na, Ca using impedance method]. *Vestnik TSUAB*. 2002. No. 1. Pp. 34–40. (rus)
14. Gorlenko N.P., Kulinich E.A., Alesina N.V., Sarkisov Yu.S. Aktiviruyushchee vozdeistvie magnitnogo polya na protsessy strukturoobrazovaniya dispersnykh sistem [Magnetic activation effect on structure formation of dispersion systems]. *Vestnik TSUAB*. 2001. No. 1. Pp. 5–8. (rus)
15. Gorlenko N.P., Mokrousov G.M. The magnetic field influence upon anion radical photochemical generation in radical media. *Proc. 3rd All-Union Sci. Conf. 'Polarization of electrons and nuclei and magnetic effects in chemical reactions'*, Novosibirsk, 1981. P. 39. (rus)
16. Gorlenko N.P., Mokrousov G.M. Metastabil'nost' protsessov kak neobkhodimoe uslovie proyavleniya effektov magnitnoi obrabotki, Deponirovannaya rukopis' N 646-khp -D82. [Metastable processes as a necessary condition for magnetic treatment effects. Manuscript]. ONIITEKhim Publ., 1982. (rus)
17. Safronov, V.N., Sarkisov, Yu.S., Kugaevskaya, S.A. Tsiklovaya magnitnaya aktivatsiya gazonapolnennykh zhidkikh sred zatvoreniya tsementnykh sistem [Cycle magnetic activation of gas-filled mixing waters for cement pastes]. *Vestnik TSUAB*. 2009. No. 4. Pp. 89–99. (rus)
18. Safronov V.N., Gorlenko N.P., Sarkisov Yu.S., Abzaev Yu.A., Kugaevskaya S.A., Ermilova T.A. Rol' tsiklovoi magnitnoi obrabotki vody zatvoreniya v upravlenii svoystvami i protsessami gidratatsii i strukturoobrazovaniya tsementnykh sistem [Mixing water magnetic activation cycle effect on hydration and structure formation of cement systems] *Vestnik TSUAB*. 2014. No. 4. Pp. 135–148. (rus)
19. Usatenko S.T., Morozov V.I., Kdassen V.I. Vliyanie magnitnykh polei na vrashchatel'nye IR-spektry vody [Magnetic field effect on rotational IR-spectra of water]. *Colloid Journal*. 1977. V. 39. No. 5. Pp. 1018–1020. (rus)
20. Karavaeva, A.P., Marshakov I.K., Zhidkonozhkina A.A. Nekotorye svoystva omagnichennoi glubokoobessolenoj vody [Properties of highly demineralized water]. *Teoriya i praktika sorbtsionnykh protsessov*. 1976. V. 11. Pp. 78–83. (rus)
21. Ershova G.F., Churaev N.V. Issledovanie neravnovesnykh sostoyanii vodnykh rastvorov po infrakrasnym spektram [Research of non-equilibrium states of water solutions by IR-spectra]. *Russian Journal of Physical Chemistry A*. 1979. V. 53. No. 9. Pp. 2392–2394. (rus)
22. Chekanov V.V., Drozdov V.I., Nuzubidze P.V., et al. Izmenenie namagnichenosti magnitnoi zhidkosti pri obrazovanii agregatov [Change of liquid magnetization at aggregate formation]. *Magnetohydrodynamics*. 1984. No. 1. Pp. 3–9. (rus)
23. Varlamova Yu.D., Kaplun A.V. Issledovanie protsessov strukturoobrazovaniya v magnitnykh zhidkostyakh [Structure formation in magnetic liquids]. *Magnetohydrodynamics*. 1983. No. 1. Pp. 33–39. (rus)
24. Bantysh L.A. Osobennosti fazovykh perekhodov voda-led i voda-par pri deistvii postyannogo magnitnogo polya [Phase transformations water-ice exposed to magnetostatic field]. *Elektronnaya obrabotka materialov*. 1977. No. 5. Pp. 63–64. (rus)
25. Boichenko V.A., Zolotov E.V., Sapogin L.G. K voprosu o vzaimodeistvii vody s vneshnim magnitnym polem [Interaction between water and external magnetic field]. ONIITEKhim Publ., 1975. No. 710/76. 11 p. (rus)
26. *Voprosy teorii i praktiki magnitnoi obrabotki vody i vodnykh rastvorov* [Theory and practice of magnetic water and water solution activation]. *Coll. Papers*. Novocheerkassk : NPI Publ., 1975. 265 p. (rus)
27. Zyat'kov A.I. K voprosu o prirode svoystv magnitnoobrabotannoi vody [Properties of water treated by magnetic field]. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 1977. V. 50. No. 1.

- Pp. 16–19. (rus)
28. Zelenkov V.E., Chernov Yu.K. Izmenenie diamagnetizma vody pri magnitnoi obrabotke [Diamagnetism of water at magnetic treatment]. In: Ochistka stochnykh i oborotnykh vod. Moscow : Metallurgiya Publ., 1971. Pp. 150–160. (rus)
 29. Kronenberg K.J. Verzuge der magnetischen vvaserhandlung, die neue arzliche. 1988. V. 22. No. 35. Pp. 69–74.
 30. Dubov A.P. Geomagnetnoe pole i zhizn' [Geomagnetic Earth's field]. Leningrad : Gidrometeoizdat. 1974. 176 p. (rus)
 31. Dukhanin B.C. Issledovanie vliyaniya magnitnogo polya na gidratatsiyu ionov v rastvorakh elektrolitov i na skorost' nekotorykh khimicheskikh reaktsii: avtoref. diss ... kand. khim. Nauk [A study of magnetic field effect on ion hydration in electrolyte solutions and chemical reaction rate. PhD abstract]. Moscow : 1973. 21 p. (rus)
 32. Gak E.Z., Rokhinson E.Kh., Bondarenko N.F. Vliyanie magnitogidrodinamicheskikh yavlenii v elektrolitakh na kinetiku geterogennykh protsessov [Magnetic hydrodynamic phenomena in electrolytes affecting kinetics of heterogeneous processes]. *Elektronnaya obrabotka materialov*. 1977. No. 4. Pp. 62–66. (rus)
 33. Gak E.Z. Gidrodinamicheskie efekty v vodnykh sredakh v elektricheskikh i magnitnykh polyakh [Hydrodynamic effects in aquatic solutions in electric and magnetic fields]. *J. Eng. Phys. and Thermophys.* 1982. V. XLIII. No. 1. Pp. 140–153. (rus)
 34. Evdokimov V.B., Manukyan S.D. Fiziko-khimicheskie osnovy magnitogidrodinamicheskoi demineralizatsii zhidkosti [Physicochemical basics of magnetic hydrodynamic water demineralization]. *J. Physical Chem.* 1975. V. 3. Pp. 569–578. (rus)
 35. O'Brien K.N., Santhanam K.S. Magnetic field on the growth on the diffusion layer at vertical electrodes during electrodeposition. *J. Electrochem. Soc.* 1982. V. 129. No. 6. Pp. 1266–1268.
 36. Guraichi M.S., Eahidy T.Z. A technique for the study of flow patterns in electrolysis, *J. Electrochim. Soc.* 1980. V. 127. P. 666.
 37. Evdokimov V.B., Manukyan S.D., Tikhomirov V.G. Issledovanie poperechnykh i prodol'nykh effektov v rastvorakh elektrolitov [A study of transverse and longitudinal effects in electrolyte solutions]. *J. Physical Chem.* 1978. V. 52. No. 1. Pp. 225–227. (rus)
 38. Aleksandrov P.A., Gramberg I.S., Marmorshstein L.M., Kazarinov V.E., Krylov B.C. Vliyanie magnitnogo polya na elektroprovodnost' rastvorov elektrolitov v geterogennykh sistemakh [Magnetic field effect on electric conductivity of electrolytes in heterogeneous systems]. *Proc. USSR Academy of Sciences*, 1983. V. 268. No.4. Pp. 848–850. (rus)
 39. Gak E.Z., Rik G.R. O primenenii magnitogidrodinamicheskikh effektov v elektrolitakh dlya modelirovaniya nekotorykh protsessov perenosa [The use of magnetic hydrodynamic effects in electrolytes for transformation process modeling]. *Technical Physics. The Russian Journal of Applied Physics*. 1968. V. 38. No. 5. Pp. 931–934. (rus)
 40. Noninski C.J., Noninski V.C., Terziyski V.J. Coper deposition and overvoltage in magnetic field in the tafel potential region. *Renn. Soc. Int. Electrochem.*, 1982. V. 2. Pp. 939–941.
 41. Zheng J.M., Chin W.C., Khijniak E., et al. Surfaces and interfacial water: evidence that hydrophilic surfaces have long-range impact. *Adv. Colloid Interface Sci.* 2006. V. 127. Pp. 19–27.
 42. Katsir Y., Miller L., Aharonov Y., et al. The effect of RF-irradiation on electrochemical deposition and its stabilization by nanoparticle doping. *Journal of the Electrochemical Society*, 154[4]: D249-D259 (2007).
 43. Zhao Q., Ovchinnikova K., Chai B., et al. Role of proton gradients in the mechanism of osmosis. *J. Phys Chem B*. 2009. Aug 6. 113 (31): 10708-14.
 44. Collaciccio, G. Electrical potential of the water surface. *Chemica Scripta*. 1988. No. 2. V. 28. Pp. 141–144.
 45. Andreev V.G. Vliyanie poverkhnostnogo potentsiala vody na reologicheskie svoistva dispersnykh sistem [Water surface potential effect on rheological properties of dispersion systems]. *Proc. Int. Symp. 'Reliability and Quality'*. Penza, 2004. Pp. 385–386. (rus)
 46. Lo S.Y., Geng, X., Gann D. Evidence for the existence of stable-water-clusters at room temperature and normal pressure. *Physics Letters A*. 2009. V. 373. Pp. 3872–3876.
 47. Voeikov V.L. Klyuchevaya rol' ustoichivo neravnovesnogo sostoyaniya vodnykh sistem v bioenergetike [The key role of steady non-equilibrium state of water systems in bioenergetics]. *Russian Journal of General Chemistry*. 2009. V. LIII. No. 6. Pp. 41–49. (rus)

48. Kha D.M., Mukhitova O.G., Vilenskaya N.D., et al. Aktivirovannyye perekis'yu vodoroda vodnye rastvory bikarbonatov – dolgovremennyye istochniki nizkointensivnogo izlucheniya, reagiruyushchie na slabyye i sverkh-slabyye vozdeistviya [Bicarbonate aquatic solutions activated by hydrogen peroxide as long-term sources of low-intensive radiation responding to weak and superweak effects]. *Biomedical Radioelectronics*. 2011. No. 2. Pp. 28–38. (rus)
49. Mokrousov G.M., Gorlenko N.P. Fiziko-khimicheskiye protsessy v magnitnom pole [Physico-chemical processes in magnetic field]. Tomsk, TSU Publ., 1988. 128 p. (rus)
50. Gorlenko N.P., Sarkisov Yu.S. Nizkoenergeticheskaya aktivatsiya dispersnykh sistem [Low-energy activation of dispersion media]. TSUAB Publ., 2011. 264 p. (rus)