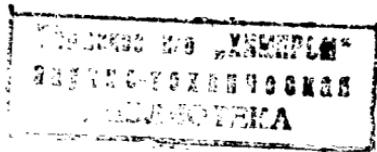


6.21.117.12  
1.4

**В. И. КЛАССЕН**  
**ОМАГНИЧИВАНИЕ**  
**ВОДНЫХ СИСТЕМ**

ИЗДАНИЕ 2-е,  
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

02889



Москва, «Химия», 1932

6П7.1

УДК 66-911 : 546.212 : 538.6

К 47

### **Классен В. И.**

Омагничивание водных систем. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Химия, 1982. — 296 с., ил.

В книге обобщены и проанализированы результаты исследований и широкого практического применения магнитной обработки водных систем — природных и технических вод, растворов и суспензий. Показана возможность улучшения без существенных затрат производства бетона и изделий на основе других вяжущих веществ, уменьшения образования различных инкрустаций (накипи и др.), а также улучшения флотационного обогащения полезных ископаемых, процессов сгущения и фильтрования, интенсификации ряда технологических процессов в различных отраслях промышленности.

Книга рассчитана на широкий круг исследователей и работников всех областей народного хозяйства, в которых применяют водные системы.

296 с., 55 табл., 103 ил., список литературы 250 ссылок.

Рецензент — докт. хим. наук, проф. В. И. ЯШКИЧЕВ.

Редактор *Л. В. Швыркова*  
Художник *А. В. Александров*  
Художественный редактор *Н. В. Носов*  
Технический редактор *Е. В. Цыганок*  
Корректор *В. А. Лобанова*

ИБ № 1396

Сдано в наб. 19.02.82. Подп. в печ. 30.04.82. Т. 10414. Формат бумаги 84×108<sup>2</sup>/<sub>32</sub>. Бумага тип. № 1. Гарн. литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 15,54. Усл. кр.-отт. 15,54. Уч.-изд. л. 16,47. Тираж 6000 экз. Заказ № 10. Цепя 1 р. 10 к. Изд. № 2382

Ордена «Знак Почета» издательство «Химия». 107076, Москва, Стромынка, 13.

Московская типография № 11 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. Москва, 113105, Нагатинская ул., д. 1.

К  $\frac{2801010000-077}{050(01)-82}$  77,82

© Издательство «Химия», 1982 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	5
Введение	7
<b>Глава I. Структура и свойства воды и растворов</b>	<b>10</b>
1. Структура чистой воды	10
2. Влияние примесей	13
3. Память на физические воздействия	19
4. Магнитная восприимчивость	22
5. Зависимость свойств реальной воды от ее структуры	23
<b>Глава II. Изменение свойств водных систем после магнитной обработки</b>	<b>24</b>
1. Гомогенные («микрорегерогенные») системы Оптические свойства. Магнитооптический эффект Фарадея. Гидратация ионов. Инфракрасные спектры поглощения. Магнитная восприимчивость. Электропроводность. Диэлектрическая проницаемость. Вязкость. Химические реакции	26
2. Гетерогенные системы Поверхностное натяжение и адсорбция. Растворение. Кристаллизация. Полимеризация. Смачивание. Коагуляция. Испарение — замораживание. Электрохимические эффекты. Ионный обмен и отмывка сорбентов	54
3. Биологические системы	92
4. Воспроизводимость опытов	104
<b>Глава III. Состояние теории омагничивания водных систем</b>	<b>109</b>
1. Общие положения	109
2. Возможные механизмы влияния электромагнитных полей на водные системы Изменение свойств чистой воды. Изменение структуры водных растворов воздействием на ионы. Роль газов, растворенных в воде. Воздействие полей на ионы в водном растворе. Воздействие магнитных полей на коллоидные ферромагнитные и другие частицы. Обсуждение существующих гипотез	120
<b>Глава IV. Аппараты для электромагнитной обработки водных систем</b>	<b>145</b>
1. Аппараты с постоянными магнитами	145
2. Аппараты с электромагнитами	153

3. Сравнение аппаратов и приемы их эксплуатации	159
4. Индикация эффекта действия аппаратов	162
<b>Глава V. Практическое использование омрагничивания водных систем</b>	<b>166</b>
<hr/>	
1. Производство бетона, изделий на основе цемента и других вяжущих веществ Твердение цементного камня. Твердение гипса и других вяжущих. Производство бетона. Производство изделий с применением других вяжущих. Экономический эффект	167
2. Уменьшение образования накипи и других инкрустаций Накипь. Инкрустации в аппаратах, применяемых в нефтяной промышленности. Другие отложения. Экономический эффект	182
3. Флотационное обогащение полезных ископаемых Магнитная обработка воды и пульпы. Магнитная обработка водных растворов флотационных реагентов	201
4. Сгущение и фильтрование суспензий	215
5. Очистка воды	222
6. Мокрое улавливание пыли	227
7. Производство керамики, кирпича, литейных форм Производство керамики. Производство кирпича. Производство литейных форм	232
8. Другие области промышленного применения магнитной обработки Производство бумаги. Производство окатышей. Агломерация. Производство синтетических волокон и каучука. Крашение тканей. Аккумуляторы. Катализаторы. Смазочно-охлаждающие жидкости. Процессы закалки стали. Нефтяная промышленность. Производство фосфорной кислоты. Фотопромышленность. Производство соды. Производство хлора. Выщелачивание металлов из руд. Гидротехническое строительство. Борьба с коррозией. Обезжелезивание и стабилизация минерализованных подземных вод. Пищевая промышленность	239
9. Применение в сельском хозяйстве Орошение посевов. Замачивание семян. Рассоление почв. Птицеводство, животноводство. Народнoхозяйственный эффект	265
10. Применение в медицине	282
З а к л ю ч е н и е	286
Л и т е р а т у р а	287

*«А именно вода, эта древнейшая из всех стихий, вечно ставила в тупик физиков и химиков»*

*Дж. Бернал*

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Омагничивание, или магнитную обработку водных систем — природной и технической воды (различных растворов и суспензий) — в последние годы широко используют для совершенствования множества технологических и биологических процессов, что обусловлено ни с чем несравнимой ролью, которую играют водные системы в самых различных областях жизни человечества.

В последние десятилетия чисто эмпирически установлена возможность значительной активации водных систем различными физическими воздействиями — магнитными, акустическими, электрическими, термическими, дегазационными и др. Это, по справедливости, должно оцениваться как открытие чрезвычайной важности. Совершенно необычное в научном плане, оно приводит к практическим следствиям, которые трудно переоценить.

Так, наиболее развитая магнитная обработка водных систем, как показано в предлагаемой читателю книге, может принести большую пользу народному хозяйству, облегчить решение топливно-энергетических и экологических проблем, повысить степень использования материальных ресурсов, улучшить качество продукции.

Магнитная обработка водных систем интенсивно развивается несмотря на слабую разработку основ теорий ассоциированных жидкостей, тем более содержащих различные примеси. Путь ее развития с момента зарождения — пока чисто эмпирический. Это обуславливает возникновение очень больших трудностей, в частности — психологических. Приходится задумываться о пересмотре и серьезном уточнении некоторых установившихся представлений, поскольку, выражаясь словами А. Грина,

«на берегу моря неизведанного заметили мы странные следы...».

В течение пяти лет, прошедших после первого издания этой книги, практическое использование магнитной обработки водных систем сильно расширилось. Учитывая это обстоятельство, а также результаты многих новых экспериментальных исследований, проводимых в восьмидесяти институтах прикладного профиля, книгу пришлось существенно переработать и дополнить все ее разделы. В частности, представлены отдельные сведения об изменении водных систем после магнитной обработки, которые рассмотрены в несколько ином теоретическом аспекте, чем ранее. Приведено много новых сведений о практическом использовании метода в различных отраслях промышленности, сельском хозяйстве и медицине. При переработке книги использованы материалы, опубликованные в течение последних лет (число публикаций уже превысило две тысячи).

Следует отметить, что рассматриваемая в книге проблема тесно переплетается со многими новыми проблемами и, прежде всего, с влиянием искусственных и естественных магнитных полей на биологические системы, состоящие в основном из воды.

Автор надеется, что книга будет способствовать дальнейшему развитию исследований омагничивания водных систем и представит интерес для работников научно-исследовательских институтов, промышленных предприятий и сельского хозяйства.

Водные системы (природная вода, растворы) играют уникальную роль в жизни человечества и формировании нашей планеты. В. И. Вернадский подчеркивал, что нет такого компонента, который мог бы сравниться с водой по влиянию на ход основных, самых грандиозных геологических процессов [1, с. 16]. Несмотря на это, вода еще не стала одним из главных объектов исследования физиков. И вообще физика жидкостей, особенно ассоциированных, по общему признанию, представляет собой слабо разработанный раздел теоретической физики. И вода «мстит» за это невнимание, преподнося различные сюрпризы. Все чаще отмечаются необычные изменения свойств воды после различных внешних воздействий. Например, установлено, что свойства воды после нагрева-охлаждения в автоклавах, дегазации, акустических, радиационных и других воздействий изменяются [2, 3 и др.].

Следует заметить, что *вода и водные системы являются труднейшим объектом исследований*. Относясь к так называемым открытым системам, они обмениваются с внешней средой не только энергией, но и веществом. Одновременно — это плохо организованные системы, свойства которых не однозначны и не аддитивно зависят от многих еще не полностью вскрытых факторов.

Как показано ниже, в воде, особенно природной и технической, всегда присутствуют ультратонкие твердые частицы и газовые пузырьки. Это — система микрогетерогенная (коллоидная). Микрогетерогенность воды может не сказываться на некоторых ее свойствах. Но развитость межфазных поверхностей раздела в ряде случаев не может не учитываться.

В наши дни уже оформилась как особая дисциплина магнетохимия, возникшая после того, как М. Фарадей заметил, что магнитные свойства присущи всем веществам и тесно связаны с их химическим составом и строением. Магнетохимия развивается в двух направлениях — «магнестатическом» и «магнаторезонансном», поэтому она находит применение как для изучения веществ, так и для ускорения различных химических реакций.

Следует отметить, что последние работы А. Л. Бучаченко, Р. З. Сагдеева, Е. Л. Франкевича и других показали, что изменение кинетики определенных химических реакций принципиально возможно при сообщении системе энергии, меньшей энергии теплового движения, что ранее казалось абсолютно невозможным. Основным общепринятым правилом магнетохимии, предложенным Батнахарой, является следующее: если сумма киломолярных восприимчивостей продуктов реакции больше суммы киломолярных восприимчивостей реагирующих веществ, то магнитное поле ускоряет реакцию; если меньше, то замедляет ее.

Интенсификация технологических процессов в соответствии с классическими магнетохимическими представлениями достигается воздействием относительно сильных (многие тысячи эрстед) магнитных полей на системы, обладающие достаточно высокой магнитной восприимчивостью, причем реакции протекают в магнитном поле. При магнитной обработке водных систем эти условия не соблюдаются. Магнитными полями невысокой напряженности действуют в течение долей секунды на водные системы, часто обладающие ничтожно малой магнитной восприимчивостью. Физико-химические реакции и процессы протекают *после магнитной обработки*. Как показано ниже, правило Батнахара при магнитной обработке водных систем почти никогда не соблюдается.

Указанные особенности магнитной обработки водных систем резко расширяют практические возможности. Магнитная обработка водных систем при достаточном развитии может играть важную роль в промышленности, медицине, сельском хозяйстве. Однако отход от классической магнетохимии вызывает необходимость разработки новых теоретических представлений, что в нашем случае связано с очень большими трудностями.

Мы неоднократно подчеркивали, что рассматриваемое воздействие правильной называть *не магнитной, а электромагнитной обработкой*. И дело здесь не только в терминологии. Известно, что электрическое и магнитное поле — две стороны особого вида материи, называемого электромагнитным полем. Из уравнений Максвелла вытекает, что магнитное поле возникает как при перемещении электрических зарядов, так и при изменении силы электрического тока во времени. Между тем, изменение

во времени напряженности магнитного поля вызывает возникновение электрического поля. При омагничивании водных систем, как правило, есть условия для возникновения электрического поля: электропроводящая водная система перемещается в магнитных полях, а в некоторых случаях, и магнитные поля изменяются во времени.

Таким образом, водная система испытывает *комбинированное электромагнитное воздействие*. Какая составная его часть играет преимущественную роль — магнитная или электрическая — зависит от конкретных условий.

Обработка водных систем именно электромагнитными полями является наиболее развитым, но частным случаем. Не меньший интерес представляет воздействие на них всех видов излучений, имеющих электромагнитную природу. Спектр электромагнитных волн имеет широчайший частотный диапазон: от  $3 \cdot 10^{24}$  до  $3 \cdot 10^{-2}$  Гц. Магнитные поля с частотой меньше  $3 \cdot 10^2$  Гц условно относят к электромагнитным. Пока при магнитной обработке водных систем применяли низкочастотные магнитные поля.

История магнитной обработки водных систем вкратце такова. Первые сведения о влиянии магнитных полей на свойства воды были получены в медицине. В XIII веке физик де Герсю отметил лечебные свойства «омагниченной» воды; в начале XX века вышла в свет и в 1913 г. была переведена на русский язык книга Г. Дюрвилля (G. Durville) с примерами успешного лечения этой водой ран и язв. В 30-х годах нашего столетия Дж. Пиккарди (G. Piccardi) отметил влияние солнечной активности на коагуляцию взвешенных в воде частиц оксихлорида висмута, связав это влияние с изменениями геомагнитного поля. И, наконец, в 1945 г. бельгиец Т. Вермайрен (T. Vermeiren) запатентовал применение магнитной обработки воды для уменьшения образования накипи. Хотя это открытие быстро нашло практическое применение, оно не привлекло должного внимания ученых. И лишь после того, как в Советском Союзе было высказано предположение о том, что влияние магнитной обработки на отложения накипи связано с изменением физико-химических свойств водных систем и следовательно может проявляться во многих других случаях, рассматриваемая проблема была поставлена во всей ее широте.

## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ВОДЫ И РАСТВОРОВ

### 1. СТРУКТУРА ЧИСТОЙ ВОДЫ

Структура одиночной молекулы воды установлена весьма точно (рис. 1). Из имеющихся в молекуле 10 электронов (5 пар) одна пара электронов (внутренних) расположена вблизи ядра кислорода, а из остальных четырех пар электронов (внешних) по одной паре обобществлено между каждым из протонов и ядром кислорода, тогда как 2 пары остаются неподделенными и направлены к противоположным от протонов вершинам тетраэдра. Именно эти неподделенные пары играют большую роль в возникновении межмолекулярных водородных связей (рис. 2).

Большую роль играет фактор расстояния: электрическое поле в зоне индукции убывает пропорционально квадрату расстояния от источника излучения, а магнитное — кубу расстояния.

Водородная связь обусловлена ионными силами и образуется электроотрицательными атомами. Водородная связь основана на стягивании водорода одной молекулы воды с кислородом другой, смещением электронного облака навстречу чужому протону и, соответственно, оттягивании своего протона навстречу электронному облаку соседнего атома. Прочность связи увеличивается с ростом электроотрицательности двух связанных атомов. В соответствии со шкалой электроотрицательностей можно ожидать, что этой особенностью (в убывающем порядке) обладают фтор, кислород, азот. Вклад электростатической и ковалентной составляющих зависит от межутомных расстояний. Длинная водородная связь (0,28 нм) в воде имеет в основном электростатическую природу, вклад ковалентной связи составляет всего несколько процентов. Поэтому длинная водородная связь — относительно слабая и ее энергия равна 14,2 кДж/моль (Дж. Пимментал) или 20,9 кДж/моль

(Поллинг). Водородные связи обладают свойством насыщения — в каждой связи участвуют две должным образом ориентированные молекулы при условии их достаточной близости.

Установление водородной связи с соседней молекулой значительно облегчает ей вступление в последующие водородные связи. Вода — кооперативная система, в ней существуют цепные образования водородных связей. И всякое воздействие на воду распространяется эстафетным путем на тысячи межмолекулярных расстояний.

Наличие водородных связей придает воде специфическую, лабильную структуру. основополагающие работы в этой области Бернала и Фаулера [4] получили в дальнейшем широкое развитие.

Подробная систематизация и анализ этих исследований содержатся во многих монографиях (например, [5—8]) и здесь не рассматриваются. Важные модели структуры воды, объясняющие ее аномальные свойства, разработаны Самойловым, Поллингом, Франком — Немети, Шарага, Поплом и др. Ажено, исходя из общих кванто-механических положений, обосновал возможность существования лишь двух связей в молекуле воды и образования структуры, состоящей из колец или линейных цепочек.

Оценивая множество гипотез о структуре воды, нельзя не согласиться с Р. Хорном, считающим, что ни одна из теорий не является вполне удовлетворительной и ни одна из них не лишена истины [8, с. 33].

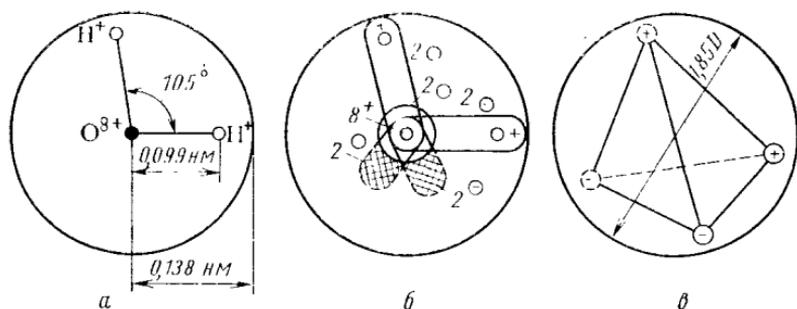


Рис. 1. Модель молекулы воды:

*а* — плоскостная модель; *б* — пространственная модель (распределение масс и положительных зарядов и электронная конфигурация); *в* — пространственная модель (тетраэдрическое расположение двух положительных и двух отрицательных зарядов и результирующий дипольный момент).

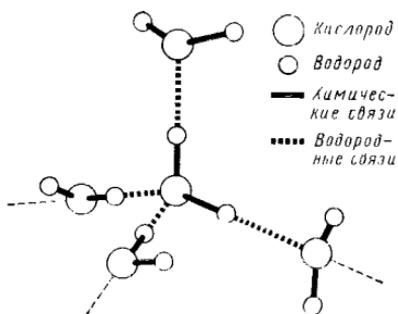


Рис. 2. Схема водородных связей между молекулами воды.

При объяснении многих экспериментальных данных чаще всего пользуются так называемыми двухструктурными моделями, предполагающими одновременное присутствие в воде льдоподобной

и плотноупакованной структур. Феноменологическая двухструктурная модель выражает в упрощенном виде полиморфизм структур ближнего порядка. При этом не рассматривается молекулярное строение компонентов, лишь предполагается, что в отличие от льдоподобной в разупорядоченной структуре молекулы упакованы более плотно и не соединены водородными связями [9]. В этой модели изменение структуры воды под влиянием внешних полей или примесей характеризуется только сдвигом структурного равновесия в ту или иную сторону.

Но наряду с двухструктурной моделью воды известна и так называемая континуальная модель, согласно которой все ее молекулы эквивалентны. В этом случае структура воды описывается непрерывным распределением водородных связей по энергиям.

В последние годы работы по машинному эксперименту — по методам молекулярной динамики и Монте-Карло — показали, что в воде не существуют «айсберги», «кластеры», т. е. пустотные молекулы, лишенные связей. Имеется лишь тетраэдрическая, трехмерная сетка из молекул, соединенных растянутыми, изогнутыми и частично разорванными водородными связями.

Следует заметить, что, используя различные модели, можно одинаково удовлетворительно описывать основные термодинамические свойства воды. Принципиальным недостатком большинства моделей является их чрезмерная и необоснованная геометризация с использованием жестких неизменяющихся конфигураций молекул воды. При этом недооценивается возможность их искажения в процессе межмолекулярного взаимодействия. В последних работах отмечается, что амплитуды

колебаний отдельных атомов в молекулах воды достигают очень больших величин [7].

Для практических целей можно оперировать общими представлениями о структуре воды, характеризуемой статистической закономерностью межмолекулярных расстояний и ориентаций, с ближним порядком расположения частиц и отсутствием дальнего порядка (когда порядок в одном месте никак не действует на порядок в другом). Особенности водородной связи в воде обуславливают возможность возникновения и исчезновения долгоживущих микрообластей со льдоподобной структурой, так называемых «мерцающих групп». Их плавление и распад не связаны со значительными энергетическими изменениями.

Необходимо оценить, хотя бы приблизительно, энергию, необходимую для изменения структуры воды. Трудно найти первоначальную причину такого утверждения, но часто указывается, что разрыв водородных связей является обязательной предпосылкой изменения структуры воды. Следовательно, для такого изменения необходимо затратить энергию порядка 16,7—25,1 кДж/моль. Однако имеется ряд веских соображений, прежде всего в работах И. Попла [10], свидетельствующих о необязательном разрыве водородных связей. Структурные изменения под влиянием различных внешних воздействий — температуры, давления или магнитных полей — определяются также большим или меньшим изгибом связей (изменением угла между линией, соединяющей центры ближайших молекул воды, и направлением связи О—Н одной из этих молекул). Энергия, необходимая для изгиба водородных связей, неизмеримо меньше энергии их разрыва. К тому же одновременная деформация угла и длины связи молекул энергетически более выгодна, чем деформация только угла или только длины связи [7].

*Таким образом, изменение структуры воды возможно при затрате энергии, намного меньшей энергии водородных связей.*

## 2. ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ

Вода всегда содержит растворенные и микрогетерогенные примеси. Даже предельно чистая вода, тщательно сохраняемая, быстро их приобретает, растворяя, каза-

лось бы, нерастворимые стенки сосудов. Загрязнена и дистиллированная вода, не говоря уже о природной или технической.

Примеси, находящиеся в воде, сильно и разнообразно влияют на ее структуру и, следовательно, на ее физико-химические свойства. Примеси в воде делятся на три большие группы: электролиты, присутствующие в воде в виде ионов, неэлектролиты, находящиеся в ней в молекулярной форме, и тонкодисперсные твердые частицы и газовые пузырьки.

Влияние ионов на структуру воды связано с их гидратацией. Различают ближнюю гидратацию (взаимодействие иона с ближайшими к нему молекулами воды) и дальнюю гидратацию — поляризацию более отдаленных молекул воды. Основной вклад в теорию гидратации ионов сделан О. Я. Самойловым, развившим молекулярно-кинетическое представление о гидратации ионов [6]. Характеристикой ближней гидратации является отношение времени пребывания молекулы воды в ближайшем окружении иона ко времени нахождения ее в положении равновесия с другими молекулами в невозмущенной структуре воды. На основании данных о растворимости солей и теплотах гидратации ионов установлено, что на связь одной молекулы с катионом в зависимости от его заряда (+1, +2 или +3) приходится соответственно 42, 126 или 420 кДж/моль. В последнем случае гидратированный катион похож на химическое соединение. Вблизи одновалентных ионов время оседлого пребывания молекул воды имеет порядок  $10^{-8}$  с.

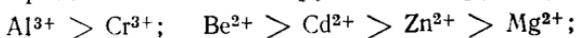
По изменениям энтропии гидратации установлено, что при появлении иона в воде энтропия системы не уменьшается, а наоборот увеличивается вследствие искажения структуры воды (поскольку гидратированный ион не вписывается в структуру воды — сетку водородных связей).

О. Я. Самойловым введены также понятия положительной и отрицательной гидратации [6]. В первом случае ослабляется трансляционное движение молекул воды вблизи иона, они становятся менее подвижными, чем в чистой воде. При отрицательной гидратации, наоборот, возрастает подвижность молекул воды вблизи иона. Это происходит в присутствии ионов большого размера с малыми зарядами ( $K^+$ ,  $Cs^+$ ,  $Br^-$ ,  $S^{2-}$  и др.).

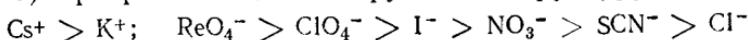
Различный характер гидратации ионов четко отмечается методами ядерного магнитного резонанса, инфракрасной спектроскопии и др.

По характеру гидратации можно разделить ионы на две группы:

а) упорядочивающие вокруг себя структуру воды



б) «разрыхляющие» вокруг себя структуру воды:



Характер гидратации ионов влияет на основные свойства водных растворов — их сжимаемость и плотность, коэффициент диффузии растворенных веществ, давление пара, электропроводность, температуры кипения и замерзания, растворяющую способность, ИК-спектры и химические сдвиги. В исследованиях процессов, связанных с магнитной обработкой, рассматривают ее влияние на скорость ультразвука и ширину линий протонного резонанса.

Степень гидратации ионов является одним из основных факторов, определяющих их подвижность и химическую активность. Поэтому важно установить, влияет ли магнитная обработка водных растворов на гидратацию ионов, поскольку с этим может быть связан механизм ее действия.

В случае хорошо растворимых веществ, содержащих полярные группы и гидрофобные радикалы (например, спиртов) полярная часть может замещать молекулу воды каркаса, а гидрофобная может заполнять пустоты («гидрофильное» внедрение). При слабом взаимодействии молекул неэлектролита с молекулами воды заполнение пустот гидрофобной частью может быть значительным. Таким образом, гидрофильные молекулы могут по-разному влиять на структуру и свойства воды. Максимальная стабилизация структуры происходит при заполнении всей полости молекулами неэлектролита. Все эти сложные вопросы подробно рассмотрены в специальной литературе [5—10].

Молекулы инертных газов, по-видимому, растворяются в воде так, что вокруг них, в зависимости от их размеров, могут образовываться различные структуры (ти-

па льда), искажение которых обусловлено изгибами водородных связей, присутствием кристаллогидратов и т. д. Это приводит к образованию новых водородных связей, т. е. к стабилизации структуры воды.

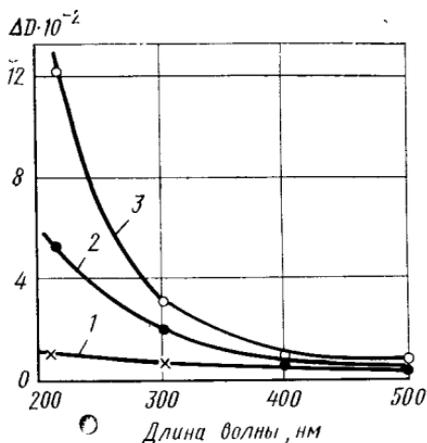
Измерением диэлектрической проницаемости водных растворов инертных газов при различном давлении И. В. Матяш подтвердил, что только атомы гелия и молекулы водорода могут помещаться в полости структуры воды без разрушения водородных связей. Молекулы же кислорода, аргона и азота вызывают деформацию каркаса структуры воды [11]. Согласно представлениям Л. Полинга, развитым Г. Г. Маленковым, Х. Франком и А. С. Квистом, в воде возможно образование гидратов газов додекаэдрического строения (12-гранников из 20 молекул воды) с полостью диаметром около 0,52 нм. Попадание в эту полость молекул газов близких размеров вызывает стабилизацию структуры. Сильное влияние инертных газов на реакции, идущие в воде под действием ультразвука, связывается с попаданием в клатратные полости комплексов  $\text{H}_2\text{O}_4$  и  $\text{HO}_2\text{O}_2$ , имеющих наибольший размер около 0,48 нм [12]. Возможна стабилизация клатратных структур и другими «заполнителями», имеющими соответствующие размеры. Л. Д. Кисловский отводит особую роль ионам кальция, обосновав возможность образования так называемых гексааквакомплексов  $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{O}_6)]^{2+}$ , в центре которых находится ион кальция. Диаметр этого комплекса равен 0,516 нм и хорошо соответствует полости клатратной структуры. Это приводит к образованию больших метастабильных ионов, значительно влияющих на структуру и свойства воды. Такие ионы могут играть определенную роль в процессах магнитной обработки воды [13, с. 25].

Влияние структурных изменений воды на растворимость в ней различных газов подтверждена также А. Беннеймом.

Растворенные газы часто образуют микропузырьки, которые влияют также на оптические характеристики воды. Н. Ф. Бондаренко и В. П. Попков измеряли при помощи спектрофотометра СФ-16 оптическую плотность воды при комнатной температуре в видимой и ультрафиолетовой областях спектра (длина волны от 190 до 500 нм) [14]. На рис. 3 показана зависимость изменения оптической плотности воды  $\Delta D$  от длины волны  $\lambda$

Рис. 3. Изменение оптической плотности воды в зависимости от концентрации в ней растворенных газов при различной длине волны света:

1 — 70 °С; 2 — 90 °С; 3 — 96 °С.

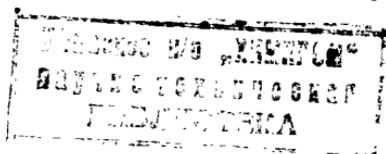


для проб, содержащих различные количества газов. Для получения воды с определенной концентрацией газов дистиллированную воду с равновесной концентрацией атмосферных газов нагревали до 70, 90 и 96 °С с одинаковой скоростью (1,1 °С/мин) и затем охлаждали со средней скоростью 1,7 °С/мин. Опыты проводили в герметизированной кювете. Концентрация газов в образцах воды была следующей, мг/л:

Образцы воды	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> стоб	CO <sub>2</sub> (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )
Равновесная	8,5	3,5	37,7
Вода, 70 °С	6,0	2,3	39,0
Вода, 90 °С	4,77	2,0	39,5
Вода, 96 °С	3,92	1,8	41,8

Результаты опытов, приведенные на рис. 3, свидетельствуют о том, что с уменьшением концентрации растворенных газов резко возрастает  $\Delta D$  в ультрафиолетовой области спектра (200—350 нм). Наблюдается увеличение  $\Delta D$  с уменьшением  $\lambda$ .

Значительный интерес для интерпретации наших опытов представляет установленное впервые Н. В. Чураевым и Г. Ф. Ершовой влияние растворенных газов воздуха на ИК-спектры воды [15]. Воду или водный раствор NaOH вводили в плоскую разборную кювету из фторида кальция, толщина слоя воды составляла 0,4 мкм. В одних опытах сохранялась возможность поступления в раствор атмосферного воздуха; в других поступление воздуха резко сокращали, склеивая пластинки кюветы пиццином. Из рис. 4 видно, что при растворении воздуха ширина полосы поглощения в области валентных колебаний с течением времени значительно возрастает. Это особенно заметно в течение первых су-



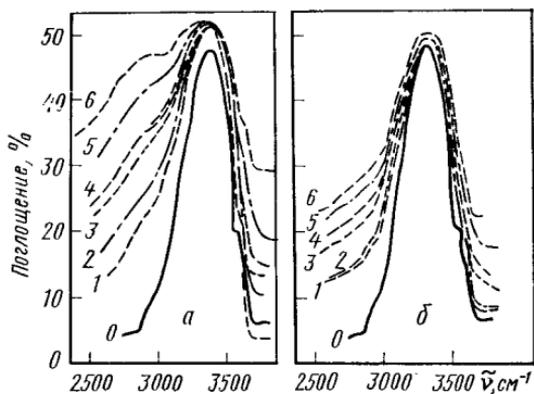


Рис. 4. ИК-спектры поглощения водным раствором:  
*а* — без изоляции раствора от окружающего воздуха; *б* — раствор изолирован от окружающего воздуха; *0* — дегазированной воды; *1–6* — водного раствора 7 М NaOH: сразу же после приготовления раствора (*1*) и спустя 1 ч (*2*), 3,5 ч (*3*); 5 ч (*4*), 21 ч (*5*) и трое суток (*6*).

ток. Главный вклад при этом, по мнению авторов, дает растворение углекислого газа. Как указывает Бен-Наим, упорядочение структуры жидкости влияет на растворимость в ней газов.

Мы привели здесь последние данные о влиянии растворенных газов на оптическую плотность и ИК-спектры поглощения воды, поскольку с этим могут быть связаны изменения данных характеристик при магнитной обработке водных систем, обнаруженные нашими опытами (см. ниже).

Кроме растворенных в природной и дистиллированной водах веществ в них содержатся большие количества микропузырьков газов и ультратонких твердых частиц. Присутствуют оксиды железа, кремний и кальций-содержащие частицы; в отдельных исследованиях именно таким частицам отводится значительная роль при магнитной обработке водных систем.

Соединения железа очень часто встречаются в природных водах, переходя в них из различных минералов под действием окислителей или кислот (угольной, органических). Вероятно, органические кислоты, содержащиеся в болотистых водах, переходят в раствор железа в виде сложных гумусовых комплексов. Форма соединений железа в воде весьма разнообразна. В присутствии

кислорода с уменьшением концентрации  $\text{CO}_2$  образуется малорастворимый в воде гидроксид железа (II), легко окисляющийся в дальнейшем в гидроксид (III) —  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Одновременно могут существовать и промежуточные соединения. Они очень мало растворимы в воде (тысячные доли мг/л), но могут присутствовать в ней в виде коллоидных частиц, легко коагулирующих с противоположно заряженными зольями кремневой кислоты [16].

К коллоидным частицам оксидов железа, находящимся в технической воде, могут присоединяться ультратонкие частицы — продукты коррозии различных деталей оборудования. Указывается, что часть такого аппаратного железа (магнетит  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\delta\text{-FeOOH}$ ,  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) обладает ферромагнитными свойствами [17].

Кремний (как и фосфор) может присутствовать в воде в виде органических и минеральных соединений. Часть кремневой кислоты находится в коллоидном состоянии — в виде частиц  $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

*Количество ультратонких частиц разной природы в реальных водах очень велико.* Например, М. Т. Дадунашвили, В. П. Пруидзе и Э. И. Качибая (Институт неорганической химии и электрохимии АН Грузинской ССР) установили, что в  $1 \text{ см}^3$  водопроводной воды содержится  $\sim 2 \cdot 10^5$  частиц, в дистилляте  $\sim 1 \cdot 10^4$  частиц размером  $10^{-6}$ — $10^{-5}$  см. Следует еще раз подчеркнуть, что в воде всегда присутствуют ультратонкие пузырьки газов, выделение которых из воды сопряжено с большими трудностями. Все эти частицы и пузырьки несут на себе электрические заряды.

### 3. ПАМЯТЬ НА ФИЗИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

До последнего времени воды (идеальную и реальную) рассматривали как равновесные системы. При снятии внешних воздействий все вызванные ими изменения свойств воды должны немедленно исчезнуть (за  $10^{-12}$  с), и система должна самопроизвольно вернуться в исходное состояние. Однако многочисленные экспериментальные данные последнего десятилетия свидетельствуют о неправомочности такого мнения, по крайней мере для воды, содержащей примеси. Для осмысливания магнит-

ной обработки водных систем этот вопрос является принципиальным. От его решения зависит возможность применения законов термодинамики равновесных систем при анализе процесса магнитной обработки (иногда эти законы произвольно применяют), а также теоретическое обоснование последствий магнитной обработки реальной воды.

Приведем факты, свидетельствующие о релаксации структурно-чувствительных свойств дистиллированной воды, содержащей некоторое количество примесей\*.

В. И. Данилов обнаружил, что вода, нагретая после замораживания до температуры несколько выше  $0^{\circ}\text{C}$ , затем замерзает при температуре немного ниже  $0^{\circ}\text{C}$ , а нагретая до  $40\text{--}50^{\circ}\text{C}$  замерзает при  $-11,6^{\circ}\text{C}$  [18, с. 73] (правда, это может быть связано с переохлаждением воды, обусловленным дезактивацией центров кристаллизации на границах жидкой фазы). Кураши и Асанулла показали, что с повышением температуры вязкость и электропроводность воды изменяются не плавно, а ступенчато. Л. Е. Ефанов отметил, что таким свойством обладает только свежеперегретая вода [19] (следует заметить, что имеются и опыты, не подтвердившие эту зависимость).

Отмечено также, что спектр ЯМР (ядерно-магнитного резонанса) воды продолжает медленно изменяться уже после того, как температура воды достигнет нового значения [20].

Ю. А. Сикорский с соавторами измеряли методом биений в поле высокой частоты диэлектрическую проницаемость талой воды при температуре таяния (при строгом термостатировании). Оказалось, что эта величина постепенно и самопроизвольно изменяется во времени. Диэлектрическая проницаемость через 264 с после момента полного исчезновения льда равнялась 74, через 330 с она составила 79,0 и через 750 с была равна 81 Ф. Такое изменение диэлектрической постоянной является следствием постепенного разупорядочения льдоподобных структур [21].

С этими данными полностью совпадают данные Грея и Крюк-санка о запаздывании стабилизации магнитной восприимчивости талой воды, достигающей табличного значения только через 20 мин после расплавления льда [22]. Работа [21] была подвергнута критике, что обусловлено необычностью полученных в ней результатов. В частности говорилось, что лед просто не успел полностью растаять и в воде сохранились его «микроайсберги» (хотя именно они должны были быстро раствориться).

Э. В. Миллером, А. Д. Куценко и нами была предпринята попытка оценить скорость структурных превращений в воде, содержащей растворенные газы и полученной не при плавлении льда, а при конденсации водяного пара (также содержащего примеси). Результаты опытов свидетельствуют о несколько повышенной плотно-

---

\* Сведения, связанные с магнитной обработкой воды, приведены в других разделах книги.

сти свежего конденсата (через 7—10 мин после его образования) [23].

То, что вода, содержащая примеси, обладает структурной релаксацией, подтверждено методами ЯМР, определением спин-эха.

Болгарские физики А. Держанский, В. Константинов и Г. Клисуранов пропускали непрерывный поток дистиллированной воды через аппарат с электромагнитами. Аппарат периодически включали и выключали. Из аппарата вода непрерывно поступала в установку ЯМР, частоту магнитного поля которой изменяли. Это приводило к изменению прецессии протонов воды, сопровождаемой поглощением определенной, точно измеряемой энергии. Величина такого сигнала релаксирует — медленно затухает. Релаксация зависит от взаимодействия протона со структурированной средой, т. е. с водой. Опыты показали, что после предварительной магнитной обработки время протонной релаксации возросло на 0,1% (что считается существенным).

О. П. Мчедлов-Петросян, А. Н. Плугин и А. В. Ушеров-Маршак для определения структурной релаксации воды воспользовались импульсной методикой спин-эха ЯМР [24, с. 185—189]. Измерялась спин-решеточная релаксация  $T_1$ . Дистиллят обрабатывали на униполярном магните, без оптимизации режима, возможно поэтому изменения не были отмечены.

Природную воду обрабатывали на многополюсном аппарате при разных напряженностях поля (от 23,8 до 200 кА/м). Установлено значительное (до 25%) изменение величины  $T_1$  при определенной напряженности магнитного поля (разброс данных не превышал 5—7%). Отношение амплитуды сигнала спин-эха, измеренной при различных напряженностях магнитного поля, к амплитуде сигнала при нулевом поле имеет минимум при определенных значениях напряженности поля. Величина и положение этого минимума зависят от того, как изменяется напряженность — в сторону увеличения или уменьшения. По мнению авторов этого исследования, «гистерезисный ход можно объяснить наличием так называемого структурного времени релаксации водного раствора».

Следует заметить, что в литературе приводятся сведения о некотором временном изменении свойств воды и после слабых механических воздействий и перемещений в магнитном поле Земли. С. Борди и Дж. Палешти отметили периодическое изменение удельной электропроводности и поверхностного натяжения тридистиллята при его механическом перемешивании [25].

В нашей лаборатории методами быстрой регистрации малых величин поверхностного натяжения и электропроводности со статистической достоверностью установлено временное изменение этих показателей при перемещении бидистиллята в пространстве. Если вода находилась под защитой стального экрана, то этот эффект не обнаруживался. Также отмечено аномальное изменение электропроводности в покоящейся и движущейся воде.

Таким образом, можно считать, что *вода, содержащая примеси (в том числе примеси газа), обладает «памятью» на различные физические воздействия. Механизм возможного влияния при этом различных примесей пока не выяснен.* Б. В. Дерягин и Н. В. Чураев

обоснованно отмечают, что «пока неизвестно, связано ли это с диффузионной кинетикой — скоростью рекомбинации ионов (собственных или примесных) или же с процессами перестройки сложных надмолекулярных структур» [26]. Но процессы, связанные с изменением структурных характеристик воды, строго говоря, не могут рассматриваться на основе термодинамики равновесных систем. И нет ничего невероятного в замедленном восстановлении ряда структурочувствительных характеристик водных систем указанной степени чистоты, отмечаемом после ее магнитной обработки.

Следует отметить интересные данные, опубликованные в Киеве (ДАН, 1980, серия А, № 11, с. 73; УФЖ, 1981, т. 26, № 5, с. 861) Б. Г. Емцом, который используя метод ЯПР-спектроскопии, нашел, что различные чистые жидкости (в том числе и вода) обладают своеобразной «памятью» на внешние физические воздействия.

#### 4. МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ

Эта характеристика воды и водных растворов имеет принципиальное значение для их магнитной обработки.

Известно, что чистая вода диамагнитна. Ее диамагнитная восприимчивость при  $20^{\circ}\text{C}$  равна  $0,7212 \cdot 10^{-6}$  ( $\pm 0,007 \cdot 10^{-6}$ ). При малейших структурных изменениях эта величина должна изменяться. Ослабление межмолекулярных связей должно приводить к увеличению диамагнетизма. Это отчетливо подтверждается наличием так называемого температурного коэффициента диамагнитной восприимчивости воды. С повышением температуры диамагнитная восприимчивость воды изменяется от  $-2,9 \cdot 10^{-6}$  при  $5^{\circ}\text{C}$  до  $-0,62 \cdot 10^{-6}$  при  $70^{\circ}\text{C}$  [27]. Это изменение сравнимо с наблюдаемым при переходе льда в воду при  $0^{\circ}\text{C}$  [28]. Считается, что температурный коэффициент исследован хорошо, однако данные отдельных авторов значительно различаются, что может быть следствием влияния неучитываемых факторов на структуру воды.

Отмечается монотонность изменения температурного коэффициента [27]. Но многими замечено нарушение этой монотонности в области  $30-45^{\circ}\text{C}$  [22, 28]. Это соответствует так называемой точке Кюри при  $35^{\circ}\text{C}$ , обусловленной скачкообразным изменением структуры воды [29]. В работе [30] указывается, что аномальность свойств воды в пределах  $30-50^{\circ}\text{C}$  связана с поляризационным маг-

нетизмом, зависящим от характера распределения электронной плотности и очень чувствительным к изменению взаимодействия частиц в системе. Результаты опытов Р. Чини показывают, что присутствующие в воде растворенные газы влияют на точку Кюри, тем самым подтверждается влияние этих газов на структуру воды [22]. Магнитная восприимчивость воды очень сильно зависит от вида и концентрации примесей. Многие из них обладают парамагнетизмом, который накладывается на диамагнетизм воды и иногда перекрывает его. Поэтому величина и характер магнитной восприимчивости растворов (объекта магнитной обработки) зависят как от природы ионов и молекул примесей, так и от характера их связи с водой и друг с другом. Парамагнетизм соединения обычно слабее парамагнетизма исходных веществ. Чем прочнее соединение, тем оно более диамагнитно [31]. Ниже показано, что магнитная обработка оказывает влияние на протекание различных химических реакций. Это может быть одним из механизмов изменения магнитной восприимчивости водной системы после магнитной обработки.

## 5. ЗАВИСИМОСТЬ СВОЙСТВ РЕАЛЬНОЙ ВОДЫ ОТ ЕЕ СТРУКТУРЫ

Вода обладает многими ярко выраженными аномальными свойствами. Все они являются следствием особенностей структуры воды и развитости в ней водородных связей. Плавление твердой воды (льда) сопровождается не расширением, как для подавляющего большинства веществ, а сжатием. Аномально изменение плотности воды с повышением температуры: при ее возрастании от 0 до 4°C плотность увеличивается, при 4°C она достигает максимальной величины и только при дальнейшем повышении температуры плотность воды начинает уменьшаться. Зависимость теплоемкости воды от температуры также имеет экстремальный характер. Минимальная теплоемкость достигается при 35,5°C, что вдвое превышает теплоемкость льда (при плавлении других твердых тел теплоемкость изменяется незначительно). И вообще, удельная теплоемкость воды аномально велика. Она равна 4,2 Дж/(г·К), в то время как, например, теплоемкость спирта равна 0,14 Дж/(г·К). Вязкость воды в отличие от вязкости других веществ возрастает с повышением давления в интервале температур от 0 до 30°C. Вода имеет температуры плавления и кипения, значительно отличающиеся от этих температур других гидратных соединений, соразмерных с водой. Воды свойственна также исключительно высокая диэлектрическая проницаемость, обуславливающая большую ее растворяющую способность.

Таким образом, *изменяя структуру водных систем и формы нахождения в них примесей, можно регулировать физико-химические свойства воды.*

Как указывалось выше, от структурированности воды зависят и многие другие ее свойства, например изменение диамагнитной восприимчивости воды при повышении температуры. Причиной этого явления считается разупорядочение структуры воды [32]. Для рассматриваемых ниже вопросов важно экспериментальное подтверждение связи между смачиваемостью реальной водой минералов и степенью ее структурированности. Это показано В. А. Глембоцким и Ю. П. Ереминым на примере смачивания обычной и свежетапой дистиллированной водой поверхности кварца. Оказалось, что свежетапая (более структурированная) вода гораздо хуже смачивает кварц, чем обычная (менее структурированная). Нарушение связей между молекулами воды ультразвуком приводит к улучшению смачивания кварца. Эти данные, полученные измерением краевых углов смачивания, согласуются с данными протонномагнитного резонанса [33]. Можно предполагать, что структурированная вода как бы сама себя оттягивает от твердой поверхности.

## Глава II

### **ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ВОДНЫХ СИСТЕМ ПОСЛЕ МАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ**

В основе многочисленных приемов практического использования магнитной обработки водных систем лежат, естественно, определенные изменения их физических и физико-химических свойств. Выявлению таких изменений посвящено большое число исследований как в нашей стране, так и за рубежом. Следует отметить, что идеально чистую воду, как правило, не изучали. Опыты проводили с бидистиллятом, дистиллятом, технической водой, искусственными растворами, суспензиями и биологическими системами. Эти исследования были сопряжены с большими трудностями. Прежде всего, измене-

ния свойств гомогенной жидкой фазы водных систем часто весьма невелики. Это, конечно, не предопределяет невозможность достижения существенных конечных эффектов. Усиление и стабилизация малых начальных изменений свойств могут происходить при помощи промежуточных механизмов, во много раз увеличивающих эти изменения. В подавляющем большинстве случаев *изменение свойственно гетерогенным системам и фазовым переходам*. Например, малейшее стимулирование образования кристаллов может вызвать лавинную и необратимую кристаллизацию в объеме со всеми вытекающими из этого технологическими последствиями. Небольшое уменьшение степени гидратации поверхности твердых частиц в определенных условиях может привести к их массовой коагуляции, существенному улучшению фильтрования и др.

Незначительное изменение отдельных свойств жидкой фазы обуславливает необходимость высокой точности их измерений и устранения возможного влияния побочных факторов (некоторые из них, по-видимому, еще не выявлены). Это далеко не всегда удается сделать. Обычно приходится проводить большое число опытов и получать статистически достоверные данные.

Следующим затруднением является сложность строгой идентификации условий магнитной обработки в отдельных опытах, тем более проводимых в разных лабораториях. Например, общепринятая единственная характеристика магнитного поля по средней напряженности однородного поля оказывается далеко недостаточной. Значительная разность скоростей потока по его сечению, особенно в трубках малого диаметра, не позволяет использовать среднюю скорость течения как исчерпывающую его характеристику. Трудно учитываемые малые изменения концентрации и характера примесей к воде (особенно газов), значительное влияние внешних наводок — все это в совокупности обуславливает вариабельность получаемых результатов\*.

Наконец, отдельные свойства воды находятся в тесной взаимосвязи. Поэтому окончательно надежным можно считать согласованное изменение всей гаммы характеристик. Однако именно в этом случае особенно велика

---

\* Этот вопрос подробнее рассмотрен в п. 3 гл. III.

отрицательная роль отдельных неточных экспериментов и различных условий их проведения.

Учитывая все сказанное, при обобщении огромного, часто противоречивого материала, мы оценивали его критически и акцентировали внимание на результатах, заслуживающих доверия.

## 1. ГОМОГЕННЫЕ («МИКРОГЕТЕРОГЕННЫЕ») СИСТЕМЫ\*

### Оптические свойства

Изучение влияния электромагнитных полей на оптические свойства водных систем представляет большой интерес не только потому, что они являются одной из физических характеристик системы, но и потому что оптические свойства воды можно измерять при минимальных на нее воздействиях и с минимальным риском изменения этой лабильной системы в процессе измерения.

В свое время Г. З. Хайдаров и И. В. Горбенко отмечали изменение показателя преломления воды после магнитной обработки [34], эти работы заслуживают продолжения, хотя измерения других исследователей дали несколько иные результаты [35]. Сравнительно недавно Л. Н. Семихина провела экспериментальное исследование изменения показателя преломления (с помощью интерферометра Релея ПТР-1) после вращения пробирки с водой внутри соленоида при постоянном токе. Диапазон напряженности варьировался от 40 А/м до 80 кА/м. После тридцатиминутного вращения показатель преломления воды изменялся на  $5 \cdot 10^{-5}$  и значительно превышал точность прибора. Большую роль играла скорость вращения пробирки: эффект появляется при определенных значениях этой скорости и имеет четко резонансный характер.

Определенные результаты получены при исследовании изменения экстинкции (поглощения) света водой. Известно, что в ультрафиолетовой области спектры экстинкции обусловлены процессами, происходящими во внешних электронных оболочках атома, и зависят от

---

\* Почти обязательное присутствие в реальной воде ультрамалых твердых частиц и воздушных микропузырьков делает термин «гомогенные» в большинстве случаев неточным.

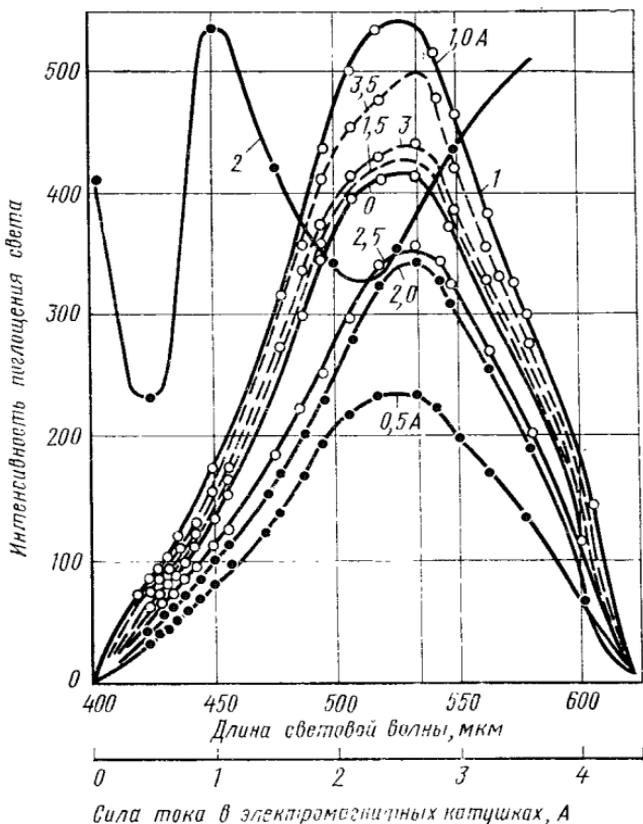


Рис. 5. Экстинкция света дистиллированной водой после ее омагничивания:

1 — спектры экстинкции в зависимости от длины волны (при разной силе тока в электромагнитных катушках); 2 — изменение максимумов экстинкции в зависимости от напряженности магнитного поля.

структуры связи, температуры и агрегатного состояния вещества. При наличии в воде примесей существенное значение имеет их состав и дисперсность. Первые работы в этой области (С. В. Брунса, А. К. Коньшиной и наши) дали положительные результаты [36]. Экстинкцию в зависимости от длины волны определяли на монохроматоре УМ-2 с использованием фотоумножителя ФЭУ-29 и чувствительного гальванометра фирмы Цейсс. Обработке подвергали дистиллированную воду с растворенными в ней газами (электропроводность

$2 \text{ мСм} \cdot \text{м}^{-1}$ )\*, пропускаемую со скоростью 0,6 м/с через девять магнитных полей при разной их напряженности — от 0 до 120 кА/м. Через 10 минут после начала опыта снимали спектры поглощения. Опыты воспроизводили многократно. Отмечено значительное (до 30%) изменение экстинкции света водой с четкой периодической зависимостью от напряженности поля. Максимум абсорбции света зафиксирован при одной и той же длине волны (рис. 5). Поскольку порог чувствительности данного метода к примесям определяется их концентрацией выше  $10^{-6}\%$ , а в испытуемой воде их было меньше, можно предполагать, что объемноструктурные свойства этого сильно разбавленного водного раствора претерпевают изменение.

Эти результаты были проверены М. Л. Михельсоном с сотрудниками [37, с. 78—83]. Измеряя спектрофотометром СФ-4а экстинкцию в интервале волн 220—1100 нм, они установили, что магнитная обработка различно влияет на свойства дистиллированной и технической воды, причем в первом случае свойства изменяются в большей степени. Для дистиллята экстинкция в ультрафиолетовой части спектра убывает, а для технической воды — возрастает.

Влияние магнитной обработки воды, содержащей примеси, на экстинкцию света было впоследствии подтверждено также и Г. М. Ивановой и Ю. М. Махневым [12, с. 45—51]. В опытах с бидистиллятом применяли различные варианты замораживания и кипячения воды, а также добавляли в нее этиловый спирт (стабилизатор структуры). Результаты опытов приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, экстинкция света сильно зависит от степени чистоты бидистиллята, содержащего воздух. Кипячение приводит к уменьшению экстинкции, замораживание — к некоторому ее увеличению. После магнитной обработки экстинкция света водой во всех случаях увеличивается. В абсолютных единицах наибольшая экстинкция свойственна омагниченной воде после замораживания — оттаивания. Но прирост экстинкции больше всего заметен после обработки кипяченой (дегазированной) воды. Возможно, что это связано с влиянием процесса растворения в воде газов.

---

\*  $1 \text{ мСм} \cdot \text{м}^{-1} = 1 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1} = 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ .

Таблица 1. Влияние предварительного кипячения, замораживания и магнитной обработки бидистиллята на экстинкцию света при длине волны 220 нм

Образец воды	Величина экстинкции		
	абсолютная	% к контрольному образцу	% к аналогу без магнитной обработки
Без магнитной обработки:			
контрольная	0,840	100,0	—
кипячая	0,562	67,0	—
таялая	0,877	104,4	—
После магнитной обработки:			
контрольная	1,060	126,2	126,2
кипячая	1,020	121,4	181,7
таялая	1,200	142,8	137,0

Причины описанного изменения экстинкции света водой после магнитной обработки требуют дальнейшего изучения.

#### Магнитооптический эффект Фарадея

Поворот плоскости поляризации монохроматического светового излучения при прохождении через прозрачное вещество (в нашем случае — воду), помещенное в магнитное поле, зависит от напряженности поля, температуры и объемноструктурных свойств вещества. Впервые влияние магнитной обработки на магнитооптический эффект Фарадея было установлено А. В. Смирновым. Эффект заметнее с возрастанием парамагнетизма ионов, добавляемых к воде. В дальнейшем В. Е. Зеленков, А. А. Упорова и Ю. К. Чернов дифференциальными измерениями интенсивности проходящего света установили, что изменение магнитооптического эффекта для омагниченной водной системы составляет 8—20% [38]. По-видимому, это связано также с изменением экстинкции света. Зависимость эффекта от напряженности магнитного поля имеет полиэкстремальный характер. Проанализировав возможные причины данного изменения, авторы предположительно объясняют его изменением структуры раствора, связанным с изменением гидратации ионов, уменьшением диссоциации растворенных

веществ и дополнительным растворением атмосферных газов.

Используя данный метод, Н. А. Деревякин и А. М. Кутепов исследовали действие магнитной обработки водного раствора сульфата различной концентрации (от 15 до 31% масс.) при разных режимах обработки. Скорость потока раствора составляла 0,3—1,9 м/с. Статистически достоверно установлено, что с увеличением напряженности магнитного поля длина волны  $\lambda$  значительно (на 50—100%) возрастает. Отмечено влияние скорости потока и градиента напряженности магнитного поля (см. ниже). В течение первых 4—5 мин после обработки эффект резко снижается, но и через 10 мин он достаточно заметен [39].

#### Гидратация ионов

Уже в первых работах высказывались мнения о том, что магнитная обработка может оказывать влияние на гидратацию ионов водных систем (Дж. Пиккарди, Н. К. Лопырев, В. И. Миненко и др.). Но эти высказывания носили предположительный характер [40] и нуждались в экспериментальном подтверждении.

Гидратация ионов оказывает очень сильное влияние на свойства растворов и кинетику многих физико-химических (а следовательно технологических и биологических) процессов. Поэтому установление влияния магнитной обработки растворов на гидратацию ионов имеет принципиальное значение. Количественно оценить степень гидратации ионов можно по теплоте гидратации (изменению энтальпии), изобарно-изотермическому потенциалу, энтропии, энергии активации самодиффузии молекул воды, ванфлековскому парамагнетизму и др. Пока имеются результаты только двух довольно надежных экспериментальных исследований, свидетельствующих о том, что магнитная обработка заметно влияет на гидратацию ионов.

1. В. С. Духанин и Н. Г. Ключников для установления влияния магнитной обработки на степень гидратации ионов использовали ультразвуковой метод определения гидратных чисел ионов (вероятности нахождения среднего числа постоянно присутствующих в данных условиях молекул воды вблизи иона). Хотя такое опре-

деление и является некоторым упрощением, но в первом приближении по гидратным числам можно судить о степени гидратации ионов. Этот метод основан на определении степени адиабатической сжимаемости растворов по скорости ультразвука (метод А. М. Пасынского) [24, с. 70—73]. Степень адиабатической сжимаемости в значительной мере зависит от изменения (даже незначительного) интенсивности ионных, молекулярных и ионно-молекулярных взаимодействий. Принимается, что вода в гидратных оболочках сжимается меньше, чем в объеме. Используя ультразвуковой анализатор скорости типа УЗАС-7, определяли скорость распространения ультразвуковых волн в термостатированном растворе. Одновременно определяли плотность раствора, необходимую для расчета. Опыты проводили с хлоридами лития, калия, магния, кальция, железа и др.

Экспериментально установлено, что электромагнитная обработка заметно влияет на гидратацию ионов. При этом гидратация диамагнитных ионов уменьшается; что же касается парамагнитных ионов, то для них наблюдается тенденция к увеличению гидратации. Значительные изменения гидратации ионов наблюдаются в разбавленных растворах, в которых присутствуют ионы — стабилизаторы структуры: наиболее гидрофильные ионы ( $\text{Li}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) и ионы, способные к образованию комплексов с водой ( $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ )\*. В. С. Духанин и Н. Г. Ключников пришли к выводу, что омагничивание приводит к некоторому «разрыхлению» структуры воды, сопровождаемому ее упорядочением и увеличением числа долгоживущих «мерцающих» групп.

Различное изменение гидратации диа- и парамагнитных ионов можно попытаться связать с изменением структуры чистой воды. Если ионы обладают диамагнитными свойствами (как и растворитель — вода), то степень гидратации ионов по мере упрочнения структуры воды будет уменьшаться. Ионы с большей диамагнитной восприимчивостью ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Cs}^+$ ) разрушают структуру воды и почти не влияют на изменение ее свойств после магнитной обработки. Таким образом, в этом

---

\* Это позволяет предполагать, что именно такие ионы при магнитной обработке оказывают влияние на различные технологические процессы.

процессе большая роль принадлежит не только отдельным видам ионов, но и их сочетаниям.

Изменение скорости ультразвука в воде после ее омагничивания подтверждено И. Я. Подчерняевым, И. В. Кисленко и П. М. Сидорченко [24, с. 102—103].

2. В. Е. Зелененков, В. И. Классен, В. К. Кульсартов и А. А. Мусина исследовали изменение протонно-магнитного резонанса растворов бикарбоната кальция. Известно, что ширина линий ЯМР зависит от времени релаксации и определяется взаимодействием молекул. Чем сильнее гидратация ионов, тем шире линия ЯМР. Опыты проводили с природной водой (преобладающие компоненты:  $\text{Ca}^{2+}$  — 50 мг/л и  $\text{HCO}_3^-$  — 200 мг/л), растворами бикарбоната кальция близких концентраций и раствором коллоидного железа [24, с. 62—67].

Для приготовления раствора бикарбоната кальция  $\text{CaO}$  хч растворяли в дистилляте (тройная перегонка в режиме парения, удельная электропроводность  $0,15 \text{ мСм} \cdot \text{м}^{-1}$  при  $18^\circ\text{C}$ ), через который пропускали диоксид углерода. Необходимая концентрация  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  достигалась последующим разбавлением. Коллоидный раствор железа получали фильтрацией суспензии измельченного магнетита, приготовленной на том же дистилляте. Содержание железа контролировали по диамагнитной восприимчивости, которая для приготовленного раствора была на 15% меньше восприимчивости дистиллята.

Электромагнитную активацию воды и растворов осуществляли в устройстве трансформаторного типа при скорости течения жидкости 0,6 м/с и напряженности поля 135 кА/м. При выборе оптимального режима активации руководствовались изменением магнитной восприимчивости водных систем.

Ширину линий резонансного поглощения ПМР исследуемых водных систем измеряли спектрометром широких линий типа РЯ-2301 (разрешающая способность  $2 \cdot 10^{-6}$ , чувствительность  $4 \cdot 10^{20}$  ядер дейтерия при отношении сигнал — шум 50:1) при рабочей частоте 40 МГц. Результаты измерений спектров исходных и активированных водных систем, записанные через 5 и 30 мин после активации, даны в табл. 2. Каждое приведенное значение ширины линии и стандартной ошибки является средним, вычисленным по семи спектрам.

Таблица 2. Влияние магнитной обработки воды на характер протонномагнитного резонанса

Водная система	Ширина линии ПМР, А/м		
	исходная	после 5 мин активации	после 30 мин активации
Дистиллят	320±0,24	320±0,24	320±0,24
Природная вода	229±0,22	204±0,64	204±0,48
Раствор Са(НСО <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	189±0,72	170±1,36	166±0,96
Коллоидный раствор железа	302±0,80	378±2,09	298±0,72

Из табл. 2 видно, что дистиллят по сравнению с истинными растворами дает более широкую линию. Какого-либо влияния электромагнитной активации на характер ПМР дистиллята на данном спектрометре обнаружить не удалось. Сужение линий ПМР природной воды (общее солесодержание до 300 мг/л) и раствора бикарбоната кальция говорит о том, что вводимые ионы действуют разрушающим образом на квазикристаллическую структуру воды. Молекулы растворителя становятся более подвижными, более свободными. Электромагнитная активация вызывает еще большее сужение линии поглощения, т. е. происходит дальнейшее разрушение структуры воды, что приводит к увеличению числа свободных мономерных молекул.

Уширение линии резонансного поглощения в коллоидном растворе ферромагнитных оксидов железа объясняется появлением неоднородностей в магнитном поле спектрометра. Электромагнитная активация, вызывающая намагничивание и коагуляцию частиц, приводит к резкому уширению сигнала ПМР, а укрупнение ферромагнитных частиц обуславливает более заметную локальную неоднородность поля. Однако коагуляция приводит к тому, что такой коллоидный раствор становится неустойчивым; укрупненные частицы, по-видимому, выпадают из раствора, так как через 30 мин ширина резонансной линии становится близкой к ширине линии дистиллята.

Несмотря на то, что электромагнитная активация в обоих случаях приводит к сужению линии ПМР, сужение резонансной линии природной воды сразу после активации (аналогично сужению линии для раствора би-

карбоната кальция) говорит о том, что основную роль в механизме активации играет дегидратация ионов.

В работе [24, с. 62—67] показано, что изменение химического сдвига, вероятно, обусловлено уменьшением количества воды, связанной в гидратные оболочки. По изменению химического сдвига можно оценить, насколько изменилась степень гидратации ионов в результате активации. Ориентировочные расчеты позволяют считать, что степень гидратации ионов кальция изменяется на 30—36%.

Таким образом, из анализа ЯМР спектров следует, что нарушение квазикристаллической структуры воды, вызванное присутствием ионов, после магнитной обработки еще более усугубляется. Происходит увеличение отрицательной и уменьшение положительной гидратации соответствующих ионов, увеличивается число свободных мономерных, более подвижных молекул воды, и, как следствие, возрастает активность такой водной системы, что неизбежно отражается на ее физико-химических свойствах.

В. Я. Хентов с соавторами [24, с. 73—75] установили, что поверхностный слой водного раствора хлорида меди после магнитной обработки обогащается диамагнитными ионами  $Cl^-$ . Учитывая данные А. Н. Фрумкина о тенденции выхода на раздел жидкость — газ слабогидратированных ионов, это также косвенно свидетельствует о дегидратации данных ионов при магнитной обработке.

#### Инфракрасные спектры поглощения

Этот метод, основанный на квантовом эффекте резонансного поглощения электромагнитного излучения веществом, находит широкое применение в исследованиях молекулярной структуры жидкой воды. Однако при использовании этого метода возникают принципиальные трудности. Не зная детально структуру воды и, тем более, характеристику водной системы, затруднительно использовать метод теоретического моделирования. Размытость колебательных полос жидкой воды мешает получению большинства спектральных характеристик. Сильное поглощение во всей области основных колебаний заставляет работать со слоями жидкости микронной

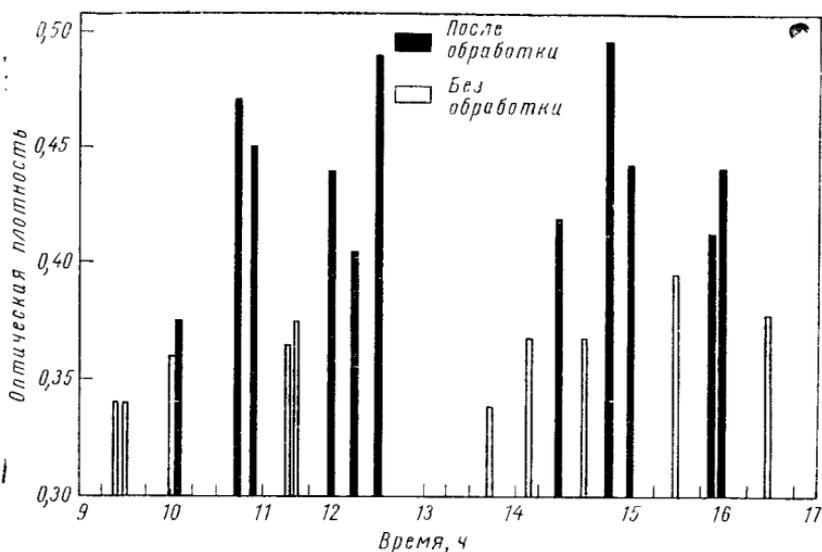


Рис. 6. Влияние магнитной обработки раствора воды в тяжелой воде на оптическую плотность (при частоте  $\nu=3450 \text{ см}^{-1}$ ).

толщины, что неизбежно снижает точность измерений. Все это обуславливает необходимость проведения исследований на высоком профессиональном уровне. Сделанное до сих пор отвечает лишь начальной стадии исследований. Тем не менее, первые полученные результаты заслуживают внимания.

Уже первые опыты, проведенные с тонкими слоями воды, позволили отметить некоторые необычные изменения ИК-спектров водных систем, подвергнутых магнитной обработке [41]. Однако возможность точного поддержания толщины столь тонкого слоя воды (3 мкм) постоянной казалась нам сомнительной. Поэтому были проведены еще две группы опытов с ослаблением поглощения воды в области валентных колебаний, что достигалось применением раствора в подходящих растворителях. В качестве растворителя применяли тяжелую воду [41] и ацетонитрил [42]. Большое число измерений, выполненных в течение нескольких лет, позволило установить определенное увеличение поглощения в области валентных колебаний воды. Статистически достоверные результаты получены и при проведении экспериментов в среде различных газов. Однако часто наблюдались

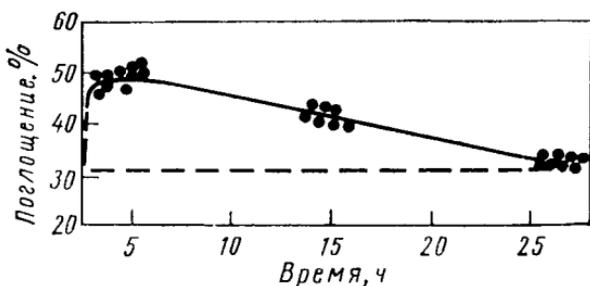


Рис. 7. Изменение поглощения в области частот  $\nu=3450 \text{ см}^{-1}$  в зависимости от времени, прошедшего после магнитной обработки.

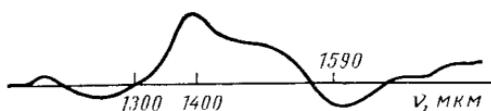
кратковременные 5—10-дневные периоды, в которые магнитная обработка не отражалась на ИК-спектрах. Отсутствие изменения ИК-спектров были отмечены и в работе [43]. Правда, в последнем случае режим обработки не был оптимизирован.

Несмотря на все методические недочеты, можно выделить две группы фактов, позволяющих считать, что магнитная обработка воды, содержащей примеси, влияет на ее ИК-спектр. Результаты опытов Г. В. Жиленко, проводимых последовательно в течение 2 суток, один за другим с магнитной обработкой и без нее, показали, что во всех случаях поглощение водой после обработки было выше, чем без обработки (рис. 6). Другая закономерность заключалась в том, что статистически достоверное увеличение поглощения с течением времени самопроизвольно снижалось (рис. 7).

При всех возможных инструментальных и методических погрешностях отмеченные закономерности не могут быть случайными.

Впоследствии это принципиально было подтверждено исследованиями А. В. Карякина с сотрудниками по сложной дифференциальной методике. В каналы применяемого спектрометра СФ-8 помещали кюветы с водой, имеющей разную температуру. В отличие от наших прежних опытов в этих опытах снимались дифференциальные спектры поглощения воды в обертоновой области. Магнитная обработка тоже была своеобразной и, по-видимому, не лучшей: бидистиллят помещали на 2 ч в постоянное магнитное поле. Дифференциальный спектр поглощения омагниченного бидистиллята по отношению к обычному приведен на рис. 8. Эти опыты показали,

Рис. 8. Дифференциальный спектр поглощения омагниченного бидистиллята по отношению к обычному ( $\nu$  — частота).



что «...омагниченная вода по структуре близка к талой. Данный вывод находит подтверждение в работе [41], в которой установлено усиление интенсивности поглощения воды при  $3450 \text{ см}^{-1}$  после магнитной обработки» [44]. В этой же работе отмечено, что эффект наблюдается только в том случае, если в воде растворен кислород. Такой вывод является весьма важным.

Г. Д. Урываева и М. И. Татаринцева установили, что магнитная обработка воды оказывает влияние на интенсивность поглощения в области деформационных колебаний, что приводит к некоторому увеличению интенсивности поглощения в области либрационных колебаний (межмолекулярных колебаний каркасных молекул воды) и появлению полосы поглощения с максимумом в области частот  $1250 \text{ см}^{-1}$  [19, с. 178].

Были проведены опыты по изучению влияния магнитной обработки воды, содержащей добавку — стабилизатор структуры, на ИК-спектр. В качестве такой добавки был выбран этиловый спирт. Смесь его с водой обладает особенно сильно развитыми водородными связями. Опыты проводили методом многократного нарушенного полного внутреннего отражения, не требующим ни тонких слоев воды, ни растворения ее в растворителях. Правда, этим методом фиксируется не само поглощение света, а более сложная характеристика — функция действительной и мнимой части комплексного показателя преломления. Результаты опытов приведены на рис. 9 [45], из которого видно изменение спектра в области валентных и деформационных колебаний.

Во всех рассмотренных опытах применяли жидкую воду, в которой трудно наблюдать вращательную структуру молекулярных спектров, так как вращение молекул или заторможено их взаимной связью, или уровни сильно смещены, и получение четкого спектра становится невозможным. Вместе с тем, выявление изменения вращательных колебаний представляется весьма важным. Для наблюдения изменений чисто вращательных спектров необходимо экспериментировать с газообразными

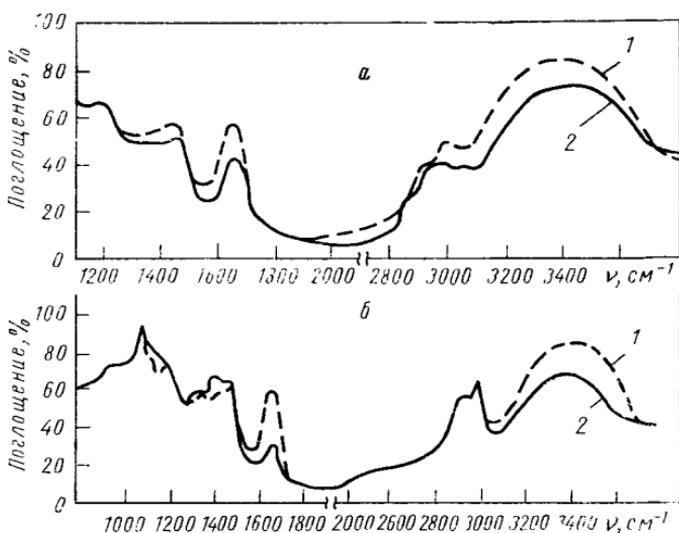


Рис. 9. Спектры водного раствора этилового спирта: *а* — 48% спирта, 52% воды; *б* — 96% спирта, 4% воды; 1 — омагниченный раствор; 2 — неомагниченный раствор.

веществами в далекой инфракрасной области. В этой области пары воды имеют очень сложный и многообразный спектр поглощения, который несет в себе разнообразную информацию. Известно, что вращательные спектры определяются ориентацией ядерных спинов, структурой молекул и характером их взаимосвязи.

С. Т. Усатенко, В. И. Морозов и В. И. Классен исследовали пары бидистиллята на спектрометре Fis-3 «Hitachi» в интервале  $400\text{--}600\text{ см}^{-1}$  (разрешающая способность  $0,5\text{ см}^{-1}$ , воспроизводимость по волновому числу  $\pm 0,3\text{ см}^{-1}$ ). Кювета для газов имела окна из фторопласта. Предварительными опытами были подобраны напряженность магнитного поля и скорость в нем бидистиллята, при которых изменения спектра были наиболее значимыми (напряженность магнитного поля  $415\text{ кА/м}$  и скорость бидистиллята  $0,6\text{ м/с}$ ).

При проведении опытов газовую кювету заполняли парами бидистиллята, подвергнутого или не подвергнутого магнитной обработке. Спектр записывали через 1—1,5 ч после обработки. На рис. 10 приведены характерные спектры паров воды в отсутствие магнитной обработки и после нее. На рисунке показаны только те

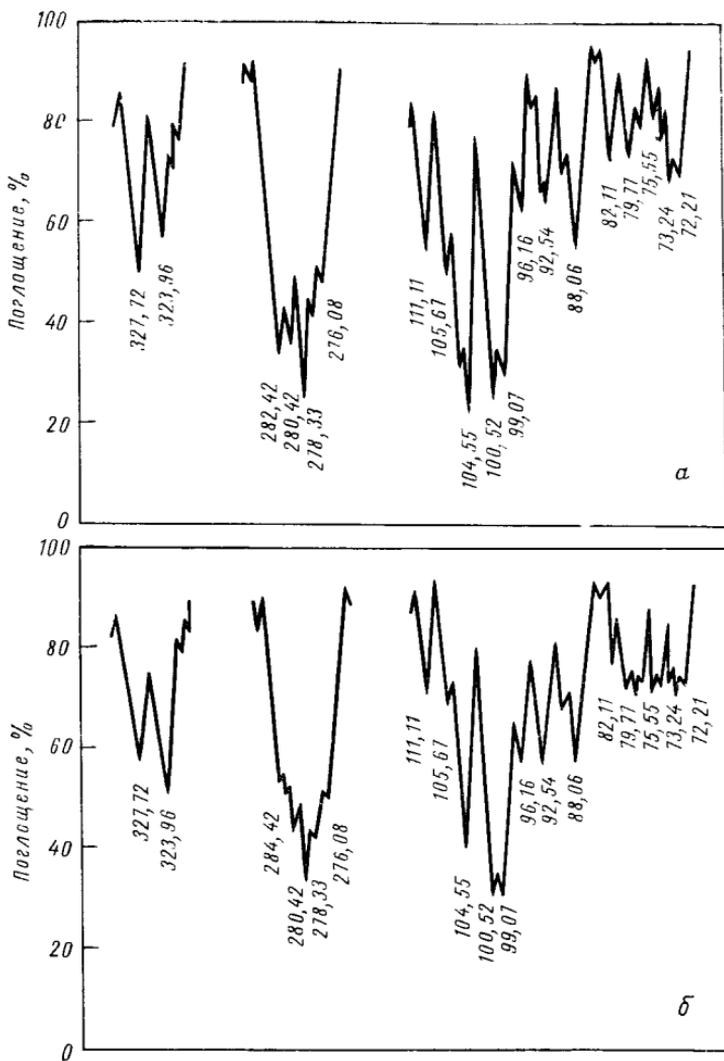


Рис. 10. ИК-спектры паров обычного (а) и омагниченного (б) бендилята.

участки спектрограмм, на которых отмечены наиболее существенные изменения. Спектры паров исходной воды сверяли с калибровочной спектрограммой, прилагаемой к прибору FiS-3. Разность результатов между параллельными определениями не превышала 2%. Как видно

из рис. 10, существенные изменения спектра наблюдаются в областях 327—323, 282—276 и 111—60  $\text{см}^{-1}$ . Изменения отдельных пиков и интенсивностей достигают 15%. Наблюдениями в течение ряда лет отмечено, что в марте — апреле вращательные спектры паров воды, как исходной, так и обработанной, изменяются [46].

Полученные на начальном этапе данные о влиянии магнитной обработки на ИК-спектры водной системы не позволяют пока еще сделать конечные выводы о характере изменения. Необходимо продолжить исследования в этом направлении. Однако имеющиеся уже данные свидетельствуют об определенном влиянии *магнитной обработки воды, содержащей примеси, на ее ИК-спектры*. Следует отметить появление первых теоретических исследований в этом направлении, в которых обосновывается возможность изменения ИК-спектров омагниченной воды и вероятность обнаружения таких изменений в дальней ИК-области ( $0\text{—}800\text{ см}^{-1}$ ) [19, с. 18—22].

#### Магнитная восприимчивость

Влияние магнитной обработки на это свойство дистиллированной воды, в которой обязательно имеются гетерогенные примеси, а также свойства более концентрированных растворов исследовали различными методами.

В. Е. Зеленков и Ю. К. Чернов воспользовались модифицированным методом Квинке, основанным на измерении перемещения столбика жидкости в магнитном поле [47].

Прибор обеспечивал точность измерений около 1%; абсолютное значение средней квадратичной ошибки составило 0,3 отн. единицы. Тщательное исследование влияния температуры на показания прибора показано, что при ее повышении с 20 до 25  $^{\circ}\text{C}$  эти показания не выходят за пределы инструментальной ошибки. Во всех дальнейших опытах температура находилась в этих пределах. Объектами исследования были: а) бидистиллят с удельной электропроводностью 0,26  $\text{мСм}\cdot\text{м}^{-1}$ ; б) дистиллированная вода с удельной электропроводностью 1,3  $\text{мСм}\cdot\text{м}^{-1}$  и в) природная вода\* с удельной электропроводностью 410  $\text{мСм}\cdot\text{м}^{-1}$ . Магнитную обработку проводили следующим образом. Стекланный сосуд с водой вращали в магнитном поле соленоида, ориентированном вдоль оси вращения. Ток поступал в соленоид через однополупериодный выпрямитель, поэтому напряженность магнитного поля достигала 400  $\text{кА/м}$ . Вращаясь в пульсирующем магнитном поле, вода многократно пересекала его силовые линии.

\* В г. Алма-Ата.

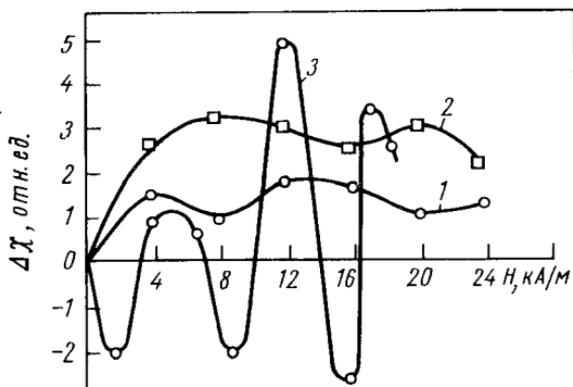


Рис. 11. Изменение магнитной восприимчивости воды  $\Delta\chi$  после магнитной обработки при разной напряженности магнитного поля: 1 — бидистиллят; 2 — дистиллят; 3 — природная вода.

Многими опытами было установлено, что при питании соленоида постоянным током и переменным невыпрямленным в отсутствие вращения жидкости изменение магнитной восприимчивости воды было незначительным. После магнитной обработки изменение магнитной восприимчивости растворов является экстремальной функцией трех переменных: частоты вращения, времени обработки и напряженности магнитного поля. Зависимость магнитной восприимчивости различной воды от напряженности магнитного поля (при частоте вращения 27 об/мин и продолжительности обработки 10 с) приведена на рис. 11. Каждая точка представляет собой среднюю величину из восьми измерений.

Из рис. 11 видно, что парамагнетизм природной воды периодически изменяется с ростом напряженности магнитного поля (в условиях опыта период осцилляции был равен 5,6  $\text{kA/m}$ ). В результате магнитной обработки такая вода может стать как более парамагнитной, так и более диамагнитной. При обработке дистиллированной воды с уменьшением концентрации посторонних ионов происходит только увеличение магнитной восприимчивости, и полиэкстремальность выражена слабее.

На рис. 12 показана кинетика изменения магнитной восприимчивости воды с течением времени. Отмечено очень интересное нарастание эффекта после обработки, а затем замедленное самопроизвольное его исчезновение. Время нарастания эффекта уменьшается

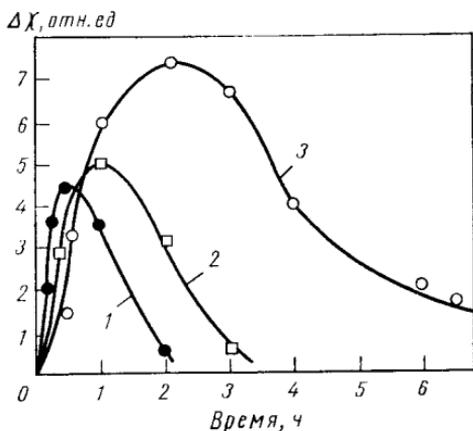


Рис. 12. Изменение магнитной восприимчивости воды  $\Delta\chi$  после магнитной обработки:

1 — бидистиллят; 2 — дистиллят; 3 — природная вода.

с увеличением степени чистоты воды. «Память» возрастает для воды, содержащей большее количество примесей (заметим, что подобное изменение диамагнитной восприимчивости воды со временем после ее магнитной обработки отмечено также С. Т. Усатенко

и В. И. Морозовым [46]). Одной из причин этого может являться увеличение числа ультратонких частиц и пузырьков, для изменения характеристик которых требуется большее время.

На рис. 13 показана качественная зависимость магнитной восприимчивости наиболее чистой воды 1 в момент магнитной обработки от концентрации кислорода в ней. При магнитной обработке воды в герметичном, полностью заполненном сосуде ее магнитная восприимчивость изменяется при изменении напряженности магнитного поля в пределах 8—11,9 кА/м. Если вода контактирует с воздухом, то влияние магнитной обработки начинает проявляться уже при напряженности поля 4 кА/м. Предварительное насыщение воды кислородом естественно отражается на начальном значении магнитной восприимчивости воды.

Поскольку вода, подвергнутая магнитной обработке, в отсутствие контакта с воздухом уже содержала определенное количество кислорода, эти опыты не позволяют судить о его роли в достижении максимального эффекта магнитной обработки. Но из сопоставления кривых видно, что магнитная обработка в определенных условиях способствует растворению кислорода в воде. Изучение поведения кислорода при магнитной обработке воды представляет существенный интерес.

В работах [48, 49] описаны результаты исследования изменения магнитной восприимчивости растворов методом Гуи. Проведенные опыты позволили установить, что после магнитной обработки диамагнетизм дистиллированной воды усиливается, причем это усиление сохраняется в течение 3—5 мин. Несколько дольше усиление диамагнетизма сохраняется для растворов сульфатов цинка, натрия и магния. Магнитная восприимчивость разбавленных растворов сульфатов никеля и кобальта понижается, а концентрированных — возрастает. Зависимость магнитной восприимчивости от напряженности

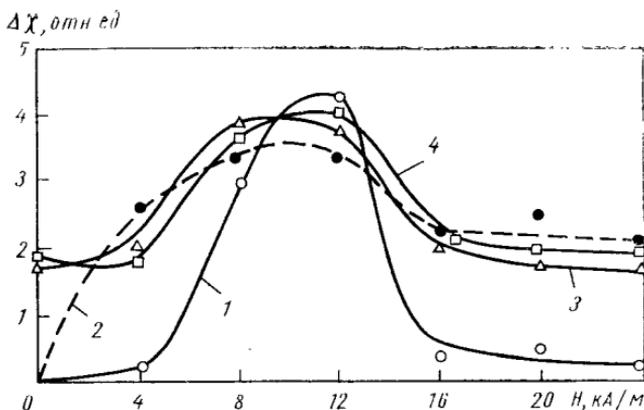


Рис. 13. Зависимость магнитной восприимчивости воды после магнитной обработки от концентрации в ней кислорода:

1 — контакт воды с воздухом отсутствует; 2 — имеется контакт с воздухом; 3 — барботаж кислорода при 18 °С; 4 — то же, при 10 °С.

поля, скорости потока и времени после обработки носит экстремальный характер.

В. К. Максимов, В. Л. Чернобай и В. И. Классен провели опыты с растворами  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{NiSO}_4$  в дистиллированной воде. Магнитную восприимчивость измеряли методом Гуи, позволяющим фиксировать ее изменение порядка  $5 \cdot 10^{-11}$ . При этом были получены результаты, близкие к приведенным выше. Наиболее интересные данные получены с дистиллированной водой, электропроводность которой составляла  $0,199 \text{ мСм} \cdot \text{м}^{-1}$ . В качестве основных примесей в воде присутствовали ионы  $\text{Mg}^{2+}$  (0,81 мг/л)  $\text{HCO}_3^-$  (4,3 мг/л) и следы общего железа ( $\approx 0,08$  мг/л). Опыты проводили при 20—45 °С (рис. 14). Как показали результаты этих опытов, при магнитной обработке диамагнитные свойства данного дистиллята усиливаются, причем наблюдается экстремальная зависимость от напряженности поля. Кроме того, после обработки заметно уменьшается аномалия при температурах около 35 °С. Эти данные свидетельствуют о влиянии магнитной обработки на структуру воды (изменения которой обуславливают аномалию вблизи точки Кюри, находящейся в указанной области температур).

Э. М. Пинт, Г. А. Зиновьев [37, с. 72—75] для определения магнитной восприимчивости технической воды, предварительно подвергнутой магнитной обработке, при-

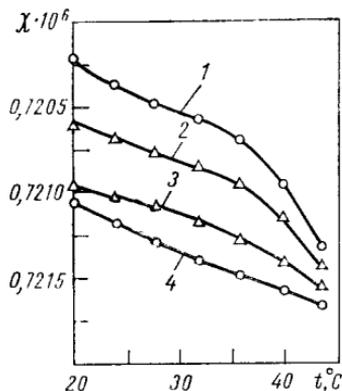


Рис. 14. Зависимость магнитной восприимчивости дистиллята от температуры:

1 — без магнитной обработки; 2, 3, 4 — после магнитной обработки при напряженности поля, соответственно 56, 104 и 88 кА/м.

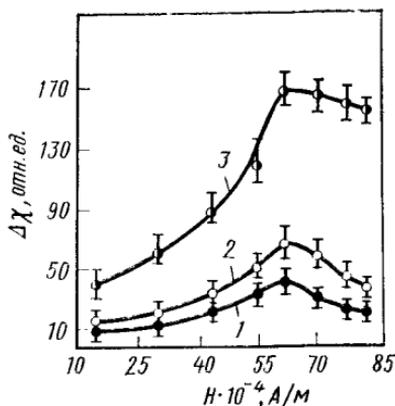


Рис. 15. Влияние концентрации кислорода в деионизированной воде на изменение ее магнитной восприимчивости после магнитной обработки полями разной напряженности:

1 — концентрация кислорода в воде 0,005 мг/л; 2 — то же, 9,0 мг/л; 3 — 30,0 мг/л.

меняли экранированный индуктивный датчик; точность отсчета индуктивности составила  $\pm 1$  мкГ. Изменение индуктивности было прямо пропорционально изменению магнитной восприимчивости воды, протекающей внутри сердечника катушки.

Опыты показали, что при магнитной обработке полем напряженностью 40 кА/м индуктивность датчика возрастает на 20 мкГ; при обработке же полем напряженностью 118 кА/м индуктивность уменьшается на 20 мкГ. Э. М. Пинт и Г. А. Зиновьев попытались тривиально объяснить эти результаты намагничиванием частиц оксидов железа (в воде было около 2 мг/л железа). Тогда остается непонятным, как объяснить снижение магнитной проницаемости при другой напряженности магнитного поля. По-видимому, такое простое объяснение нельзя признать правильным.

Особый интерес представляют результаты опытов Л. П. Караваевой, А. Л. Жидконожкиной и И. К. Маршакова (Воронежский государственный университет), установивших действие кислорода, растворенного в во-

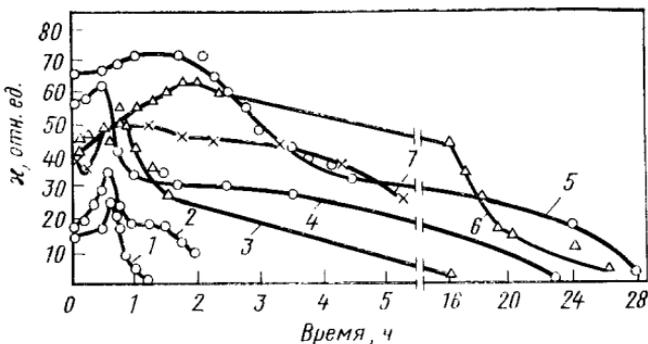


Рис. 16. Самопроизвольное снижение магнитной восприимчивости деионизированной воды с течением времени после ее обработки полями разной напряженности, кА/м:

1 — 243; 2 — 475; 3 — 699; 4 — 875; 5 — 1000; 6 — 1130; 7 — 1320.

де, на изменение ее магнитной восприимчивости после магнитной обработки. Пропуская дистиллированную воду через смешанный слой катионита КУ-2 и анионита АВ-17 в соотношении 1 : 1,4, они получали глубокообессоленную воду с удельной электропроводностью  $7,69 \cdot 10^{-6}$  См/м. В ней создавалась разная концентрация растворенного кислорода (от 0,005 до 30 мг/л), контролируемая двумя методами — Винклера и индигокарминовым. По трубке из винипласта вода многократно протекала через зазор постоянного электромагнита шириной 10 мм и длиной 75 мм. Напряженность магнитного поля изменялась от  $7,96 \cdot 10^4$  до  $79,6 \cdot 10^4$  А/м; скорость потока воды варьировали в пределах 2,36—21,1 мм/с. Магнитную восприимчивость определяли методом Квинке. Опыты показали, что после магнитной обработки магнитная восприимчивость воды изменяется, причем максимальное изменение наблюдается при напряженности магнитного поля 637 кА/м\*. Чем выше концентрация кислорода, тем значительней этот эффект (рис. 15). Изменение магнитной восприимчивости самопроизвольно снижается до исходного значения в течение 1,2 ч, 2,5 ч, 16 ч и 24 ч после омагничивания воды при напряженности магнитного поля, соответственно,  $15 \cdot 10^4$ ;  $30 \cdot 10^4$ ;  $44,7 \cdot 10^4$  и  $56,5 \cdot 10^4$  А/м (рис. 16).

\* Ниже показано, что в этих же условиях изменяются наиболее значимо и другие характеристики воды.

Таким образом, во всех исследованиях отмечено изменение магнитной восприимчивости дистиллята и растворов воды после магнитной обработки (несмотря на относительную слабость полей и кратковременность воздействий). Мнение же о том, что обнаружить эффект магнитной обработки воды представляется весьма маловероятным, оказалось несостоятельным для случая высокой точности измерений. Возможно, что отмеченные изменения обусловлены в основном примесями.

#### Электропроводность

Электропроводность воды зависит от концентрации и подвижности ионов. Даже чистая вода характеризуется определенной электропроводностью, обусловленной ее диссоциацией на ионы гидроксила  $\text{OH}^-$  и гидроксония  $\text{H}_3\text{O}^+$ . Удельная электропроводность воды составляет  $3,8 \text{ мкСм} \cdot \text{м}^{-1}$ , а воды, контактирующей с диоксидом углерода воздуха,  $80 \text{ мкСм} \cdot \text{м}^{-1}$ . В литературе содержатся весьма противоречивые сведения о влиянии магнитной обработки (бидистиллята, дистиллята и т. д.) на электропроводность воды. Это можно объяснить зависимостью электропроводности от множества факторов, в том числе от таких, как «возраст» воды (время ее выстоявания после конденсации) и характер примесей. Электропроводность воды, полученной из пара, всегда больше электропроводности воды, полученной из льда [50]. Наши опыты показали, что свойства движущейся воды, в том числе и электропроводность, заметно отличаются от свойств неподвижной воды [51]. С. Борди и Ж. Папеша [25] отметили, что перемешивание воды в магнитном поле сказывается на ее электропроводности. Возможно, в этих случаях играет роль выделение из воды диоксида углерода. Ниже приведены данные об изменении электропроводности бидистиллята после магнитной обработки в оптимальном режиме [24, с. 28],  $\text{мкСм} \cdot \text{м}^{-1}$ :

Номер пробы		1	2	3	4	5
Перед магнитной обработкой	обра-	167,6	169,2	355,5	211,0	197,5
После магнитной обработки	обра-	156,4	152,1	315,0	196,3	180,5
Номер пробы		6	7	8	9	
Перед магнитной обработкой	обра-	159,6	306,3	238,6	252,9	
После магнитной обработки	обра-	147,8	250,8	296,1	185,2	

Как видно из приведенных данных, электропроводность после обработки обычно понижается (что, кстати, исключает возможное влияние внесенных примесей при магнитной обработке). Между тем, именно загрязнениями воды О. И. Молоканов с соавторами объясняют изменение электропроводности [13, с. 87—92]. Они обрабатывали очень чистую воду (электропроводность  $4 \text{ мкСм} \cdot \text{м}^{-1}$ ) при условии изоляции ее от полюсов магнитов и контакта с ними.

В. Е. Зеленков, А. А. Мусина и В. К. Кульсартов установили изменение (возрастание) электропроводности природной воды после магнитной обработки; в их опытах время релаксации составило 8—10 ч. Анализ частотных характеристик импеданса и фазового сдвига электродно-химической поляризации свидетельствовал о значительном увеличении подвижности ионов — зарядоносителей [52].

Следует отметить, что при измерении электропроводности вода подвергается слабым электромагнитным воздействиям, которые могут нивелировать последствия магнитной обработки.

Как уже отмечалось, магнитная обработка воды (с различными примесями) влияет на ее электропроводность, однако механизм такого воздействия может быть весьма различным. В частности, В. И. Миненко связывает это с изменением концентрации растворенных газов или с уменьшением ионного произведения воды [40, с. 28].

Имеется публикация и о том, что магнитная обработка дистиллята не оказывает влияния на его электропроводность [53]. Однако опыты, описываемые в этой работе, были проведены без должной оптимизации режима обработки (не варьировали напряженность поля, скорость потока и т. п.), но техника измерений при этом была высокой.

#### Диэлектрическая проницаемость

Этот параметр является важной и объективной характеристикой электрических свойств водной системы; ее изменение после магнитной обработки отмечено во многих работах, например в работе Д. И. Уманского [54]. Г. Эльзбутас, Т. Хверенцас и К. Саснаускас подвергали

магнитной обработке дистиллированную воду (удельная электропроводность  $2,1 \cdot 10^{-4}$  См·м<sup>-1</sup>) и водопроводную воду (удельная электропроводность  $0,048$  См·м<sup>-1</sup>, общая жесткость около 4 мг-экв/л). Наиболее четкие изменения действительной и мнимой частей диэлектрической проницаемости отмечены для водопроводной воды. Эти изменения наблюдаются после обработки воды сравнительно слабым магнитным полем (поля большей напряженности вызывают менее четкие изменения) при оптимальной скорости ее течения в поле. Для льда, полученного из обработанной воды, отмечено изменение тангенса угла диэлектрических потерь [13, с. 228—230; 55].

П. И. Госьков, Г. С. Госькова, Г. А. Желтовский и В. А. Салихов [13, с. 74—79] оценивали изменение диэлектрических свойств воды после магнитной обработки фазометрическим и диэлектрическим методами. Первый метод основан на различии фазовых соотношений электромагнитных колебаний, прошедших через омагниченную и неомагниченную воду. Вторым методом основан на различии свойств колебательного контура и емкости, образованной измерительным конденсатором, заполненным исследуемой водой. В обоих случаях отмечено изменение свойств воды, содержащей примеси, после магнитной обработки. Жесткость воды изменялась в пределах 6,5—3,5 мг/л. Этими опытами также установлена полиэкстремальная зависимость диэлектрических свойств от напряженности магнитного поля.

В. Е. Зеленков, А. А. Мусина и В. К. Кульсартов установили, что магнитная обработка природной воды приводит к уменьшению диэлектрической проницаемости. При этом также отмечено смещение критической частоты аномальной дисперсии диэлектрической проницаемости в высокочастотную область, характерную для чистой воды (частота порядка  $10^{10}$  Гц). Это свидетельствует об уменьшении периода собственных колебаний молекул воды и о приобретении ими большей свободы (по-видимому, это объясняется меньшей гидратацией ионов и их ассоциатов [52]).

В. Е. Баталин, основываясь на теоретическом анализе, считает, что увеличение диэлектрической проницаемости воды при движении в магнитном поле обусловлено поляризацией ее молекул [56]. В присутствии солей,

способных гидролизаться, увеличение диэлектрической проницаемости должно ускорить реакции гидролиза, что в свою очередь должно привести к увеличению числа зародышей твердой фазы. Этим и объясняется последствие магнитного поля. Результаты большого числа опытов, проведенных Б. С. Баталиным, с солями  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{FeSO}_4$ , добавляемыми к дистилляту, пропускаемому через магнитное поле, подтвердили сделанные им ранее теоретические предположения.

### Вязкость

О влиянии магнитной обработки водных систем на их вязкость существуют разноречивые мнения. Так, В. И. Миненко с соавторами отмечают возрастание вязкости омагниченной воды на 3—4% [57]. Д. Ф. Файзуллаев, С. Джурабеков, А. А. Шакиров и С. Абидов — ее уменьшение [58]. Такое различие, по-нашему мнению, во многом зависит от точности метода измерения вязкости, особенно — от режима течения воды в вискозиметре и от некоторых обычно не учитываемых факторов, влияющих на структурно-чувствительные свойства воды.

Влияние конструкции вискозиметра на точность измерения отчетливо прослеживается при измерении вязкости талой воды. Еще Е. Линдгрэн (E. R. Lindgren) отметил влияние диаметра трубки вискозиметра на результаты измерения. И. К. Никитин с соавторами при измерении вязкости талой воды капиллярным вискозиметром не обнаружил ее повышения, при измерении же вискозиметром Геплера они отмечают существенное увеличение вязкости, самопроизвольно снижающейся до обычной в течение 3—6 сут [59], что еще раз свидетельствует о структурной релаксации воды.

Имеются сведения о том, что под воздействием магнитного поля пузырьки газа в воде, находящейся в стеклянном капилляре, при очень небольшом градиенте давления (50—100 Па) перемещаются медленнее по сравнению с их перемещением в отсутствие поля [13, с. 59—64]. Очевидно, магнитное поле влияет не только на объемную вязкость воды, но и на физико-механические свойства ее тонких пристенных слоев. В работе отмечена необходимость строгого соблюдения одного и того же времени выстаивания воды перед опытами в спокой-

ном состоянии. Также необходимо выдерживать постоянным «возраст» воды — время после ее конденсации. Замечено, что трехдневная вода наиболее подвержена воздействию магнитного поля. Возможно, это связано с постепенным ее насыщением газами воздуха.

Опыты проводили с дистиллированной водой удельной электропроводностью  $1,5\text{—}2,0$  мкСм·м<sup>-1</sup>; напряженность магнитного поля составляла  $111 \pm 1,6$  кА/м. Достоверно установлено, что под влиянием магнитного поля происходит заметное (на 1—2%) замедление движения пузырька. После прекращения воздействия поля эта аномалия самопроизвольно исчезает.

При воздействии однородного постоянного магнитного поля на покоящуюся воду вязкость ее не изменяется. Это отмечено Б. В. Евдокимовым, В. А. Зубаревым методом оценки поведения броунирующих частиц. Однако имеются недавно опубликованные И. Лильмесом и Г. Алеманом (I. Lielmers and H. Aleman) результаты тщательных опытов, противоречащие этому и свидетельствующие о слабом изменении вязкости дистиллированной воды, помещенной в постоянное магнитное поле, но этот эффект наблюдается при строго определенной температуре (25 °С), что авторы связывают со структурными изменениями воды [60].

#### Химические реакции

В литературе имеются сведения о влиянии магнитной обработки водных систем на кинетику химических реакций. В. С. Духанин приводит ряд наглядных и, по-видимому, надежных результатов [61]. Им изучено влияние предварительного омагничивания на разложение пероксида водорода в присутствии вольфрама натрия. Эти данные свидетельствуют о значительном изменении скорости разложения пероксида водорода после воздействия магнитного поля. Эффект зависит от напряженности магнитного поля (рис. 17). Значения напряженности в экстремальных точках соответствуют результатам, наблюдаемым при изучении влияния омагничивания на скорость ультразвука. Следовательно, изменение скорости разложения является следствием определенных изменений структуры системы вода — пероксид водорода. Образование своеобразных гидратов на основе водород-

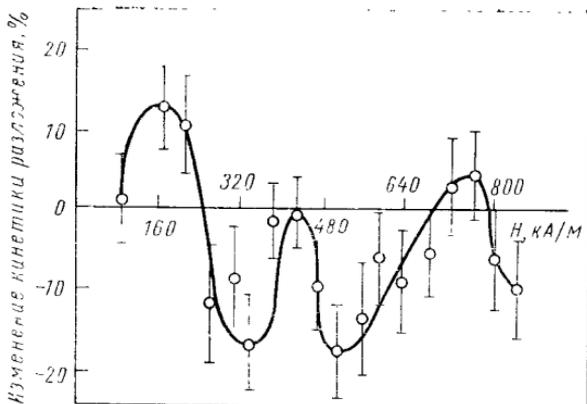


Рис. 17. Влияние напряженности магнитного поля на изменение скорости разложения пероксида водорода.

ной связи, как показали Д. Г. Кнорре и Н. М. Эмануэль, может существенно влиять на ход химических реакций.

Недавно В. Патровский сообщил, что при магнитной обработке в воде появляется небольшое количество пероксида водорода. При проведении опытов 1 л омагниченной воды замораживали почти полностью; в остаточной незамерзшей жидкости концентрировался пероксид водорода. Эту воду подкисляли. Для удаления свободного хлора добавляли хлороксид гидроксид-амин. Затем вводили определенное количество нодата калия и 2%-ный раствор крахмала. По интенсивности голубой окраски оценивали содержание пероксида водорода.

Как показали результаты опытов, в воде, прошедшей через магнитное поле сплошным потоком, содержится  $5 \cdot 10^{-5}\%$   $H_2O_2$ . Та же вода, распыленная в том же поле воздушным потоком, содержала  $1,7 \cdot 10^{-4}\%$   $H_2O_2$  [63]. Автор полагает, что пероксид водорода образуется в результате реакции воды с растворенным кислородом. Однако это маловероятно, так как такая реакция является очень энергоемкой. Возможно, в образовании пероксида водорода определенную роль играют свободные радикалы. В аналогичных опытах Э. А. Маргулиса эти данные не были воспроизведены.

Магнитная обработка также значительно влияет на каталитическое разложение пероксида водорода в присутствии ионов меди; степень влияния магнитной обработки зависит от их гидратации. Магнитная обработка значительно замедляет распад пероксида водорода (по данным В. С. Духанина, это соответствует увеличению гидратации ионов меди после магнитной обработки).

В. С. Духаниным установлено значительное увеличение скорости окисления щавелевой кислоты перманганатом

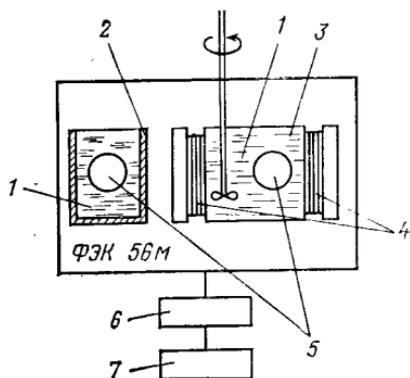


Рис. 18. Схема установки для определения влияния слабого переменного магнитного поля сверхнизкой частоты на автоколебательную химическую реакцию окисления малоновой кислоты броматом калия:

1 — реакционная смесь; 2 — кювета сравнения; 3 — основная кювета; 4 — кольца Гельмгольца; 5 — световой пучок; 6 — усилитель АПУ-01; 7 — самописец ПС1-02.

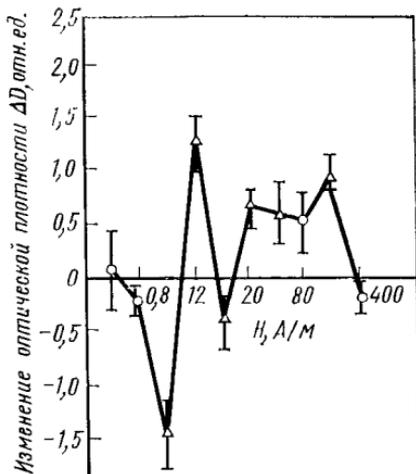
том калия после предварительного омагничивания раствора. Любопытно, что свойства этой же системы, помещенной на длительное время в магнитном поле, не изменялись, т. е. система не подчинялась правилу Батнакара [61].

Большой интерес представляет последняя работа Л. П. Агуловой [62, с. 116—119], в которой установлено четкое влияние очень слабых магнитных полей на автоколебательную гомогенную химическую реакцию окисления малоновой кислоты  $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$  броматом калия  $\text{KBrO}_3$ , катализируемую ионами церия  $\text{Ce}^{3+}$ ,  $\text{Ce}^{4+}$  (реакция Белоусова — Жаботинского). В ходе этой реакции происходит периодическое изменение окраски раствора, что обусловлено колебаниями концентраций окисленной ( $\text{Ce}^{4+}$ ) и восстановленной ( $\text{Ce}^{3+}$ ) форм церия.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 18. Напряженность магнитного поля регулировали в пределах 0,8—400 А/м; частоту его — в пределах 0,01 Гц. Изменения окраски раствора регистрировались фотометрическим способом (длина волны  $364 \pm 5$  нм) и записывались самописцем. Раствор находился в термостатированной кювете. Действие магнитного поля изучали в течение 30 мин после приготовления раствора (т. е. на начальном участке реакции).

Опыты показали, что при таком воздействии переменного электромагнитного поля амплитуда автоколебаний изменяется, причем зависимость этих изменений от напряженности магнитного поля имеет достоверный полнэкстремальный характер (рис. 19). Автор работы

Рис. 19. Изменение амплитуды автоколебаний химической реакции от напряженности магнитного поля.



[62] полагает, что это, возможно, связано с действием магнитного поля на воду.

Следует заметить, что это не единственное возможное объяснение. А. М. Жаботинский считает, что рассматриваемая реакция чувствительна к облучению раствора ультрафиолетовым излучением ( $\lambda < 300$  нм), что обусловлено разложением бромсодержащих карбоновых кислот с выделением  $\text{Br}^-$ . Механизм действия магнитного поля подлежит выяснению.

\* \*  
\*

Таким образом, уже накоплены обширные, достаточно надежные и хорошо согласующиеся между собой экспериментальные данные об изменении многих взаимосвязанных свойств гомогенных (микронеоднородных) водных систем (включая и бидистилляты), подвергнутых магнитной обработке. При этом обычно отмечается экстремальная и полiekстремальная зависимость изменения свойств от напряженности магнитного поля и преимущественное влияние на эти изменения переменных полей. Подавляющее большинство эффектов характеризует изменения, обусловленные влиянием магнитных полей на примеси в воде и зависящие от характера и концентрации этих примесей. В ряде случаев отмечается плохая воспроизводимость опытов, что обусловлено, по-видимому, недостаточной стабилизацией всех основных факторов, влияющих на электромагнитную обработку водных систем.

Описанные в этом разделе эффекты не сопровожда-

ются визуально заметным образованием новых фаз, но это может быть следствием их микроскопических размеров.

## 2. ГЕТЕРОГЕННЫЕ СИСТЕМЫ

В наибольшей степени электромагнитная обработка влияет на гетерогенные водные системы или процессы, связанные с фазовыми превращениями (растворением, кристаллизацией и др.). Достижимые при этом эффекты наиболее заметны (что, возможно, является следствием своеобразного «умножающего» действия развитой поверхности раздела фаз) и, естественно, сохраняются длительное время (в ряде случаев они необратимы). По мнению Н. В. Чураева, именно в этих случаях замедляется скорость перехода системы в равновесное состояние.

### Поверхностное натяжение и адсорбция

Изменение поверхностного натяжения водных систем после магнитной обработки объясняется отдельными авторами по-разному. Некоторые исследователи считают, что такого изменения вообще не происходит, либо оно является незначительным. В. И. Миненко с соавторами отмечают увеличение поверхностного натяжения в пределах 1—3 мН/м.

Косвенным, но тонким подтверждением действия омагничивания дистиллированной воды и растворов на их поверхностное натяжение являются опыты В. И. Миненко с дроблением струи этих водных систем. В свое время Р. Фейнман и Р. Лейтон опубликовали данные о действии электрического поля на диспергирование струи воды. В. И. Миненко проводил опыты с дистиллированной и водопроводной водой, а также с растворами хлористых натрия и кальция. Эти растворы протекали по стеклянной трубке диаметром 4,5 мм, находящейся между полюсами магнита (размер полюсов 90×90 мм, зазор между ними 7 мм). Гидростатическое давление, наклон трубки и температура были постоянными. Растворы выливались из капилляра через 3—5 с после прохождения в магнитном поле. Распадающуюся струю фотографировали и, подсчитывая треки капель на трех

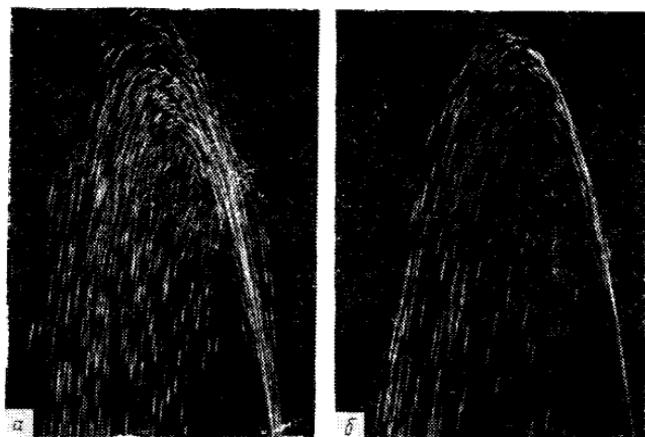


Рис. 20. Изменение распада струи дистиллированной воды после воздействия на нее магнитного поля:  
*а* — без омагничивания; *б* — после омагничивания.

фотографиях, получаемых в одинаковых условиях, определяли число капель. Как показано на рис. 20 и в табл. 3, «во всех случаях число капель, на которые дробилась струя, изменялось в зависимости от напряженности поля» [65].

В работе К. Джохи и П. Камат изменение поверхностного натяжения достигало 5 мН/м [64]. Они проводили опыты с чистой дистиллированной водой, находящейся в равновесии с газами воздуха (удельная электропроводность воды  $85 \text{ мкСм} \cdot \text{м}^{-1}$ ).

А. Д. Кущенко и Л. И. Богуславский не отметили влияния магнитных полей на поверхностное натяжение дистиллята [53]. Но они не оптимизировали напряженность магнитного поля и скорость течения в нем воды.

Таблица 3. Число капель в зависимости от напряженности магнитного поля

Жидкость	Напряженность магнитного поля, кА/м			
	0	6	156	526
Водопроводная вода	$28 \pm 1$	$26,2 \pm 2$	$24 \pm 2$	$16 \pm 2$
Дистиллированная вода	$30 \pm 2$	—	$27 \pm 2$	$14 \pm 2$
0,01М раствор NaCl	$28 \pm 2$	—	$25 \pm 2$	$18 \pm 2$
0,01М раствор CaCl <sub>2</sub>	$27 \pm 2$	—	$24 \pm 2$	$18 \pm 2$

Причины несоответствия результатов, полученных в различных лабораториях, возможно связаны с неконтролируемым присутствием в воде поверхностноактивных веществ (ПАВ), которые могут попадать из воздуха.

А. Н. Гребнев с соавторами показали, что магнитная обработка приводит к значительному изменению адсорбции ПАВ на границе раздела жидкость—газ. Опыты проводили с бидистиллятом (удельная электропроводность  $100\text{--}200\text{ мкСм}\cdot\text{м}^{-1}$ ), в котором растворяли гексадецилсульфат натрия. Концентрация раствора составляла  $2\cdot 10^{-4}$  и  $4,0\cdot 10^{-4}$  моль/л, т. е. была ниже и выше критической концентрации мицеллообразования—ККМ (для условий опыта эта концентрация была равна  $3\cdot 10^{-4}$  моль/л) [13, с. 133]. Поверхностное натяжение измеряли методом максимального давления в пузырьках при тщательном термостатировании системы ( $\pm 0,01^\circ\text{C}$ ). Статистическая обработка результатов показала, что коэффициент вариации измеренных значений находится в пределах  $0,7\text{--}1,35\%$ , а доверительный интервал с 95%-ной вероятностью составляет  $0,15\text{--}0,68\text{ мН/м}$ . Растворы суточного возраста подвергали магнитной обработке, пропуская их со скоростью  $1,7\text{--}2,0\text{ м/с}$  через девять магнитных полей с варьированием напряженности от 0 до  $126\text{ кА/м}$ .

Проведенные опыты позволили установить, что магнитная обработка приводит к резкому изменению поверхностного натяжения раствора, причем это изменение находится в периодической зависимости от напряженности магнитного поля (рис. 21) и по абсолютной величине на порядок превышает возможную ошибку. Экстремальные точки кривых, отвечающих растворам с концентрацией ниже и выше ККМ, совпадают. Наиболее заметно влияние магнитной обработки на растворы, в которых концентрация поверхностноактивного вещества ниже ККМ; в этом случае поверхностное натяжение снижается на 13%; в более концентрированных растворах оно уменьшается максимально на 10%.

Увеличение адсорбции ПАВ на разделе жидкость—газ происходит не только после магнитной обработки раствора, но и после добавления ПАВ к ранее омагниченному дистилляту. Например, В. П. Миненко обнаружил значительное (на  $6\text{--}8\text{ мН/м}$ ) уменьшение поверхностного натяжения воды, в которую после магнитной

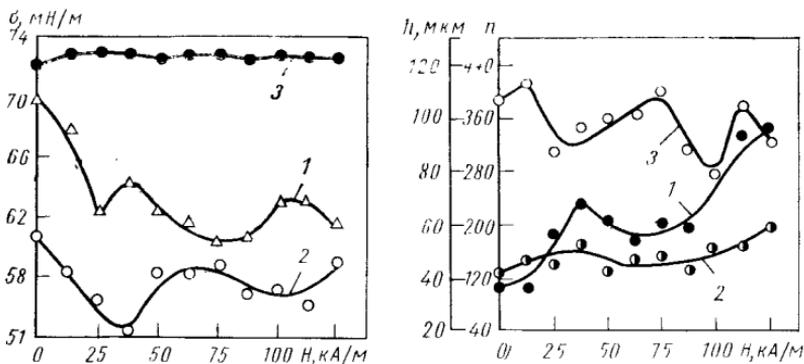


Рис. 21. Зависимость поверхностного натяжения  $\sigma$  от напряженности магнитного поля  $H$ :

1 — раствор гексадецилсульфата натрия с концентрацией ниже ККМ; 2 — то же, концентрацией выше ККМ; 3 — бидистиллят.

Рис. 22. Влияние магнитной обработки дистиллированной воды (1) и раствора гексадецилсульфата натрия (2) на размер пузырьков воздуха и количество (3) увлекаемой ими воды ( $n$  — число пузырьков;  $h$  — средняя толщина водной оболочки, увлекаемой пузырьками).

обработки добавляли соль четвертичного аммониевого основания, по сравнению с поверхностным натяжением воды с этой же добавкой, но не подвергнутой магнитной обработке [40].

Описанные результаты влияния магнитной обработки на адсорбцию гексадецилсульфата натрия на границе раздела жидкость — газ хорошо согласуются с данными, характеризующими изменение дисперсности пузырьков воздуха и их гидратированности [13, с. 139]. Это подтверждается следующими опытами. В раствор гексадецилсульфата натрия ( $4 \cdot 10^{-4}$  моль/л) через капилляр диаметром 0,2 мм под давлением 6,7 кПа вводили пузырьки воздуха, которые в ходе опыта фотографировали и подсчитывали их число (погрешность измерений около 5%). Измеряли также количество воды «присоединенной» к пузырькам и увлекаемой ими через слой неполярной жидкости (нормального октана). Погрешность измерений также не превышала 5%. Результаты опытов, приведенные на рис. 22, показывают, что при магнитной обработке значительно изменяется как размер пузырьков, так и количество увлеченной ими воды.

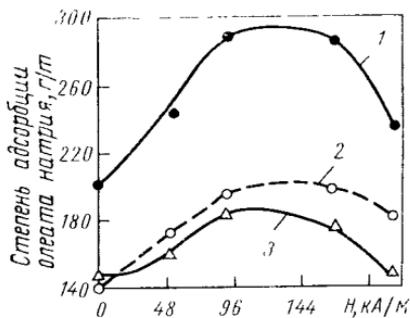


Рис. 23. Влияние магнитной обработки водного раствора олеата натрия на степень адсорбции последнего фосфоритом (1), доломитом (2) и кварцем (3).

Эти характеристики изменяются также и при магнитной обработке дистиллированной воды (возможно это обусловлено неконтролируемым количеством примесей ПАВ). Изменение степени адсорбции ПАВ на поверхности омагниченного дистиллята сопровождается также изменением свойств мономолекулярных адсорбционных слоев. Прямые измерения, выполненные Габриелли и Фикалби, показали, что мономолекулярный слой пальмитиновой кислоты на поверхности омагниченного дистиллята имеет значительно меньшее поверхностное давление, чем на поверхности неомагниченного дистиллята [66].

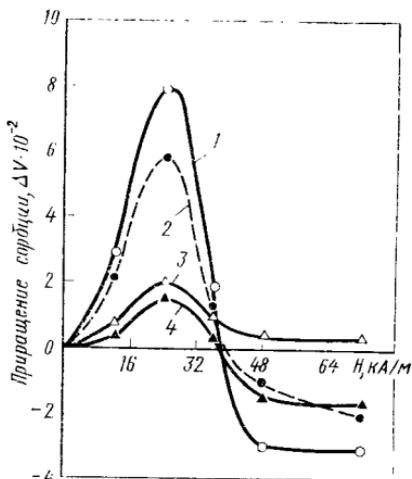
Следует заметить, что в работах В. А. Пчелина о гидрофобных взаимодействиях указывается на определенную зависимость адсорбции от степени структурированности воды: чем больше последняя, тем энергичней выталкиваются молекулы ПАВ из воды и тем выше их поверхностная активность.

Данные С. Борди и Дж. Папешин также свидетельствуют об изменении поверхностного натяжения на поверхности раздела ртуть — раствор хлористого кальция; последний был подвергнут магнитной обработке до контакта со ртутью [25].

Влияние магнитной обработки раствора на степень адсорбции поверхностно-активных веществ на границе раздела твердое — жидкость исследовано в меньшей мере. Можно отметить результаты опытов В. И. Классена, М. А. Орла, Н. Т. Цапкова и Р. А. Кабириной, позволившие установить радиометрическим методом (с контролем перманганатным методом), что магнитная обработка водного раствора олеата натрия способствует значительному увеличению степени закрепления этого реагента на поверхности частиц фосфорита, доломита и кварца. При этом максимальная степень адсорбции отме-

Рис. 24. Влияние магнитной обработки на изменение сорбционной емкости  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  при различной напряженности поля:

1 — начальная концентрация раствора  $\text{FeCl}_3$  1,5%; 2 — 3,0; 3 — 4,5; 4 — 10%.



чается при определенной (но не максимальной) напряженности магнитного поля (рис. 23) [67].

Магнитная обработка определенных водных растворов оказывает влияние и на структуру получаемых адсорбентов. В. С. Комаров, И. Б. Дубницкая и Н. И. Величко подвергали обработке магнитными полями разной напряженности растворы хлористого железа разных концентраций, осажденных аммиаком при  $\text{pH} = 8$ . Гидрогели отмывали от  $\text{Cl}^-$ , сушили при  $20^\circ\text{C}$  и определяли адсорбцию паров, содержащих  $\text{CCl}_4$ , в вакууме. Как видно из рис. 24, при относительно небольших магнитных полях значительно возрастает сорбционная емкость и удельная поверхность образцов, что более заметно для разбавленных растворов. При больших напряженностях магнитного поля эффект снижается и становится обратным [68].

Можно привести еще один пример, показывающий влияние магнитной обработки на степень абсорбции. Речь идет о новодороживании стали марки  $12 \times 1\text{МФ}$ . Пластины этой стали помещали в неподвижную и проточную (имеющей разную скорость) дистиллированную воду, предварительно насыщенную сероводородом. Напряженность магнитного поля для предварительной обработки этого раствора достигала  $800 \text{ кА/м}$ . Процесс наводороживания стали измеряли сдвигом потенциала. Установлено, что омагничивание растворов приводит к уменьшению концентрации в них сероводорода и осаждению серы на стенках ячейки. Наводороживание стали уменьшается на  $60\text{--}80\%$ . Зависимость эффекта от напряженности поля — полнэкстремальная, от скорости потока — экстремальная [69].

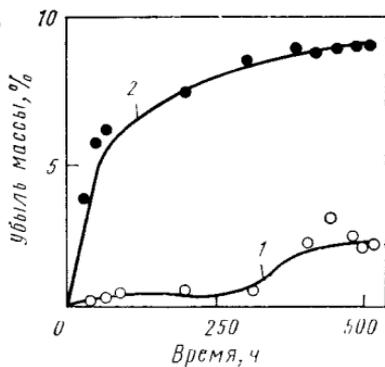
Влияние магнитной обработки водных систем на кинетику растворения в ней различных веществ начали исследовать после получения многочисленных сведений о своеобразном распаде накипи в паровых котлах при переводе их на питание омагниченной водой. В дальнейшем такое разрушение накипи стало как бы индикатором удовлетворительной работы магнитных противонакипных устройств.

Первые лабораторные исследования влияния омагниченной воды на кинетику растворения накипи были проведены Б. П. Татариновым и Е. А. Кирий [35, с. 25]. Пробы накипи содержали 51,5% CaO, 34,4% CO<sub>2</sub>, 4,8% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и 1,5% MgO. Эти пробы кипятили в омагниченной и обычной водопроводной воде примерно 500 ч; периодически пробы взвешивали. Результаты опытов, приведенные на рис. 25, свидетельствуют о значительно более быстром растворении накипи в омагниченной воде.

В дальнейшем Г. И. Тихомиров [13, с. 283—288] провел тщательные эксперименты, позволившие сопоставить растворение накипи в обычной и омагниченной технической воде (общая жесткость 0,4 мг-экв/л; концентрация ионов, мг/л: Ca<sup>2+</sup>—6,1; Mg<sup>2+</sup>—1,2, Na<sup>+</sup>—4,3, K<sup>+</sup>—0,7, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>—15,8, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>—6,0, Cl—0,5; pH=7,12). Стандартные измельченные пробы котельной накипи растворяли параллельно в обычной и омагниченной (в оптимальном режиме) воде с полной идентификацией теплового и гидродинамического режимов. Через каждые 2 ч регистрировали: pH, жесткость, электропроводность и оптическую плотность осветленного раствора. Результаты опытов показали, что растворы в омагниченной воде значительно светлее (тонкие взвеси растворены), их жесткость, pH и электропроводность значительно выше, чем в неомгниченной воде. Другими словами, в омагниченной воде накипь растворяется гораздо быстрее, чем в обычной. Эта закономерность подтверждена Г. И. Тихомировым, который исследовал под микроскопом идентичные шлифы накипи, помещенные в обычную и омагниченную воду (рис. 26). В последнем случае отчетливо видно выщелачивание шлифа.

О лучшем растворении в омагниченной воде карбонатов кальция и магния и других неорганических веществ

Рис. 25. Относительная убыль массы пробы накипи при кипячении в обычной (1) и омагниченной (2) воде.



свидетельствуют и данные П. С. Стукалова, Е. В. Васильева и Н. А. Глебова [70]. Улучшение растворения в омагниченной воде органических соединений установлено в работе А. Н. Гребнева с соавторами [13, с. 138]. В последней работе было исследовано растворение гексадецилсульфата и алкилсульфата натрия в бидистилляте в условиях строгого термостатирования. Концентрацию алкилсульфатов в растворе, осветленном центрифугированием, определяли титрованием бромистым цетилтриметиламмонием. При этом установлено статистически достоверное увеличение на 20—70% растворения\* этих веществ в воде, причем зависимость процесса растворения от напряженности поля носит полиэкстремальный характер.

В. И. Классен, Р. Ш. Шафеев, Г. Н. Хажинская, Б. М. Корюкин и С. А. Стецкая выполнили большое число определений концентрации кислорода в бидистилляте (удельная электропроводность 190—80 мкСм·м<sup>-1</sup>) до и после его магнитной обработки. Начальная концентрация кислорода была несколько ниже, чем при равновесии раствора с воздухом. Концентрацию кислорода определяли параллельно по методу Винклера и пирогалловым методом (по интенсиности окрашивания пирогаллола, изменяющейся при взаимодействии пирогаллола с кислородом). Во всех случаях отмечено увеличение концентрации кислорода после магнитной обработки (рис. 27) [71]. Эффект более заметен при меньшей начальной концентрации кислорода (т. е. когда происходит растворение кислорода воздуха в воде). При определении концентрации кислорода через 3 ч после начала

\* В данном случае, как и в других, не достигалась равновесная растворимость.

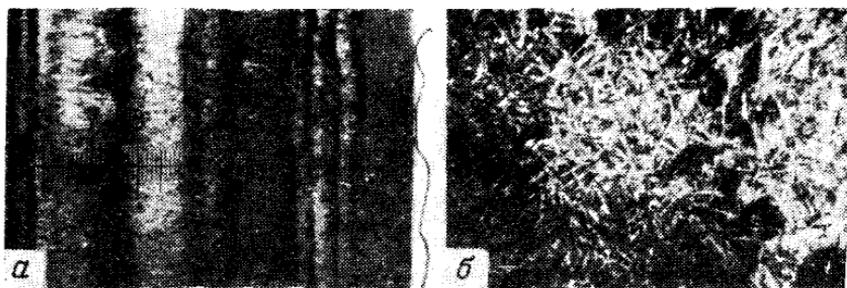


Рис. 26. Вид под микроскопом шлифов накипи после пребывания в дистиллированной воде обычной (а) и омагниченной (б).

обработки увеличение ее не фиксируется. Следует отметить, что рассматриваемый эффект может быть следствием не только увеличения концентрации кислорода, но и повышения его химической активности.

Изменение концентрации кислорода и, возможно, его активности оказывает влияние на многие физико-химические свойства воды, подвергнутой омагничиванию: изменяется ее биологическая активность и др.

Повышение концентрации кислорода в воде после магнитной обработки прослеживается и по косвенным признакам, например, по ее бактерицидному действию, изменению характера ряда химических реакций. К таким же выводам пришли и Л. Н. Великанова, В. А. Смирнов и В. Д. Семченко. Они подвергали магнитной обработке дистиллированную воду, насыщенную кислородом (барботажем в течение 30—90 мин), и получили результаты, близкие нашим. Используя метод Винклера, они обнаружили, что концентрация кислорода увеличивается с 28 до 32 мг/л. Полярнографическим методом установлено еще большее увеличение концентрации кислорода в воде после магнитной обработки [72].

Следует отметить, что все имеющиеся сведения о влиянии магнитной обработки на концентрацию в воде кислорода позволяют предполагать, что при обработке происходит какая-то химическая активация растворенного кислорода. Об этом же свидетельствует и бактерицидное действие омагниченной воды. Молекулярный механизм этой активации подлежит дальнейшему выяснению. Возможно, что в этом случае большую роль

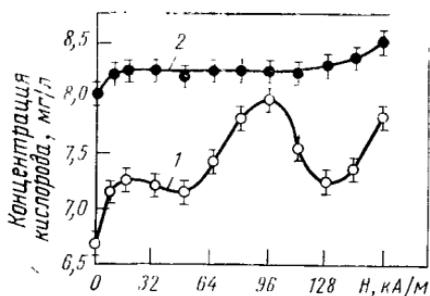


Рис. 27. Зависимость концентрации кислорода в воде, подвергнутой магнитной обработке, от напряженности поля и времени, прошедшего после обработки:

1 — 5 мин; 2 — 25 мин.

играют радикалы, возникающие при магнитной обработке водной системы.

Интересные результаты получены Л. Н. Ефановым и А. И. Михайловым при исследовании влияния магнитной обработки бидистиллята (электропроводность  $50 \text{ мкОм}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ , содержание железа меньше  $10^{-10} \text{ г/л}$ ) на растворимость иода. При тридцатикратном избытке иода (по сравнению с количеством, которое может растворяться в данном объеме воды) время достижения равновесия раствора составляет примерно 45 мин. При тщательном термостатировании и титровании раствором тиосульфата натрия с крахмалом определяли концентрацию раствора после 60-, 90- и 120-минутного перемешивания взвеси иода в воде. В отдельных случаях к воде перед омагничиванием добавляли железо в виде раствора  $\text{FeCl}_3$  или коллоидного раствора  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Результаты опытов, приведенные на рис. 28, показывают, что в омагниченном бидистилляте растворение иода статистически достоверно ускоряется. При добавлении железа влияние омагничивания ослабляется. Это свидетельствует о неправильности отнесения всех эффектов, наблюдаемых при магнитной обработке, к взаимодействию магнитного поля с примесями железа.

Л. И. Авилова, С. С. Высотина, Л. Н. Ефанов и другие исследо-

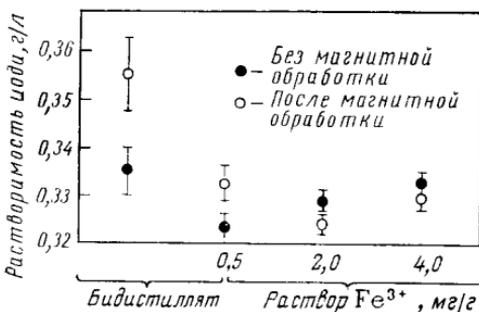


Рис. 28. Влияние магнитной обработки дистиллированной воды и концентрации в ней железа на растворимость иода.

ватели показали, что магнитная обработка влияет на растворение в воде нитробензола [24, с. 146—149]. В. И. Классен, А. Н. Гребнев, Н. И. Каленкевич и В. И. Варикаша отметили это применительно к моче-вым камням [24, с. 154—158].

### Кристаллизация

Магнитная обработка водных систем нашла практическое применение прежде всего для ускорения кристаллизации в объеме, сопровождаемой уменьшением отложения солей на стенках. Различают кристаллизацию гомогенную и гетерогенную. В первом случае в отсутствие в воде микроскопических твердых частиц в отдельных участках объема возникают зародыши новой фазы, которые затем растут. Во втором, более распространенном случае, в воде заранее присутствуют частицы твердой фазы, играющие роль затравки.

Гомогенная кристаллизация происходит в три этапа: достижение пресыщения раствора, образование центров кристаллизации (зародышей кристаллов) и их дальнейший рост. Пересыщение раствора может быть общим и локальным, в отдельных его микрообъемах, что обусловлено флуктуацией концентрации солей. Для дальнейшего пересыщения необходимо создать условия, при которых происходит взаимная ассоциация ионов и молекул.

Пересыщенные растворы в обычных условиях могут долго сохраняться; кристаллизация возникает при введении затравки или механическом перемешивании, а также при ударе. Во время латентного (индукционного) периода кристаллизации возникшая твердая фаза не обнаруживается простыми оптическими средствами. Чтобы гидратированные ионы, скопившиеся в данном микрообъеме раствора, сблизилась и образовали энергетически выгодные ассоциаты, необходимо создать определенные условия. При изучении нашей проблемы наибольший интерес представляет латентный период, во время которого образуются зародыши кристаллов и происходит их рост до заметных размеров.

Одним из таких условий является нарушение гидратной оболочки ионов. Отмечено (в частности О. Я. Самойловым), что центрами кристаллизации могут быть

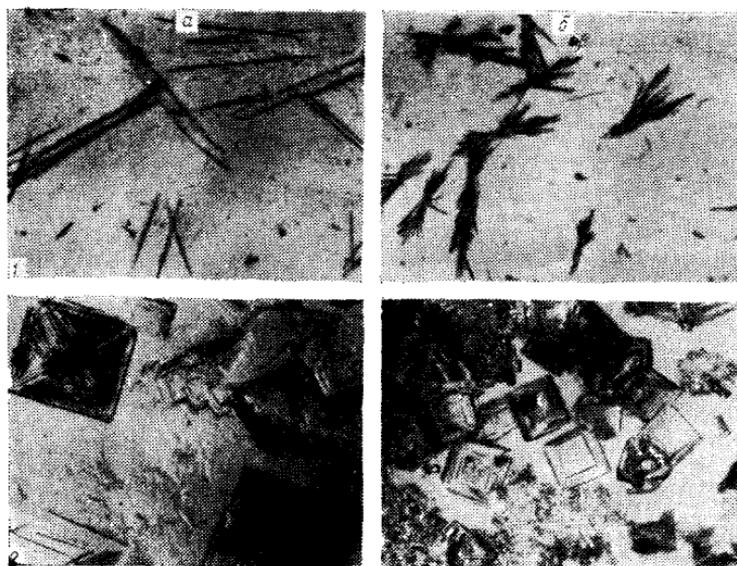


Рис. 29. Микрофотографии кристаллов  $\text{CaSO}_4$  (1) и  $\text{KCl}$  (2), выделившихся при нагревании воды ( $\times 400$ ):  
 а — без магнитной обработки; б — после магнитной обработки.

достаточно большие ионы, обладающие отрицательной гидратацией. Согласно Л. Д. Кисловскому [73], клатратные водные структуры, стабилизированные гексааквакомплексами кальция и являющиеся большими метастабильными ионами, могут служить центрами кристаллизации. Зародыш новой фазы возникает скачком. Его размер должен превышать критический (во избежание обратного растворения). Чем выше степень пересыщения раствора, тем меньшими могут быть размеры зародышей. Однако эта проблема нуждается в дальнейшем изучении [74, с. 3—17]. Скорость роста зародыша зависит от степени пересыщения раствора, природы кристаллизующегося вещества, подвижности ионов. При гетерогенной кристаллизации процесс сильно осложняется природой затравки. Еще более сложным является механизм сокристаллизации примесей.

Влияние магнитного поля на процессы кристаллизации исследовали неоднократно. В большинстве случаев речь шла о кристаллизации в магнитном поле. В рабо-

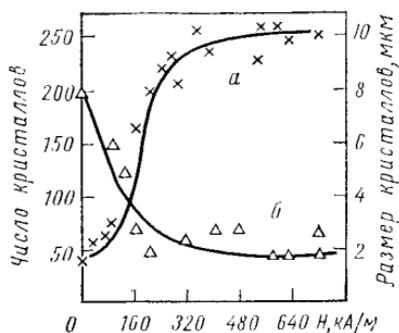


Рис. 30. Зависимость числа кристаллов солей жесткости в поле зрения (1) и размеров кристаллов (2) от напряженности поля при магнитной обработке.

тах Вермайерна впервые кристаллизация исследована вне поля (обзор этих исследований дается во многих специальных обобщающих работах).

Все исследователи отмечают, что результатами магнитной обработки являются: большая скорость образования кристаллов, меньшие их размеры и большее количество по сравнению с этими показателями при кристаллизации в обычных условиях (рис. 29). Приведем в качестве примера результаты опытов Е. Ф. Тебенихина и Б. Т. Гусева [75], пропускавших техническую воду и искусственные растворы через магнитные поля с небольшой скоростью (0,1 м/с). Результаты опытов представлены на рис. 30.

Особый интерес представляют данные М. Л. Михельсона [76] о возникновении и росте кристаллов в растворе, полученном растворением химически чистого СаО в дистиллированной воде с последующим пропусканием углекислого газа. В этот раствор вводили строго дозированные количества химически чистого порошка СаСО<sub>3</sub> и с интервалами 3—5 мин отбирали пробы с последующим отсчетом частиц и определением их размера в поточном ультрамикроскопе ВДК-4. Основная масса фиксируемых частиц имела размеры 0,1—0,2 мкм. Напряженность магнитного поля варьировали в диапазоне 0—1,6 · 10<sup>5</sup> А/м, скорость течения раствора в магнитном поле составляла 1,0 м/с. Раствор подвергали воздействию магнитным и электрическим полями (совместно и раздельно). Характерные результаты опытов приведены на рис. 31, а. Из рисунка видно, что магнитная обработка при определенном значении напряженности магнитного поля приводит к двукратному увеличению числа кристаллов указанных размеров. Совместное действие магнитного и электрического полей также приводит к увеличению кристалликов, но это отмечается в широ-

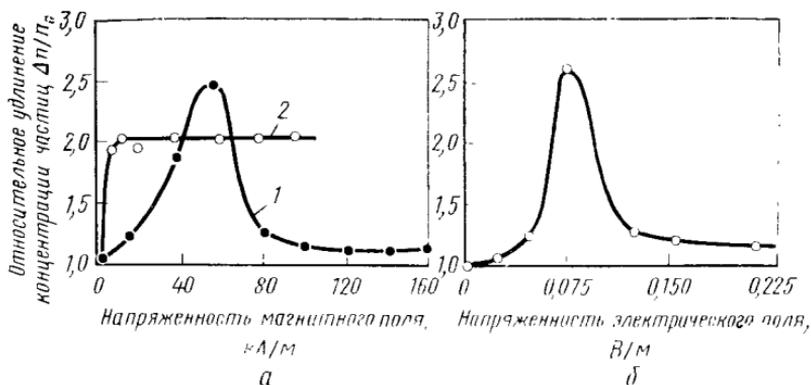


Рис. 31. Изменение относительного увеличения концентрации частиц с изменением напряженности:

*a* — в отсутствие электрического поля (1) и при совместном действии магнитного и электрического полей (2); *б* — при постоянном, не оптимальном значении напряженности магнитного поля.

ком интервале значений напряженности магнитного поля. Характерный максимум получен и при воздействии на раствор электрического поля разной напряженности при напряженности магнитного поля, не оказывающей заметного действия на концентрацию частиц (рис. 31, б).

Из экспериментов М. Л. Михельсона следует, что и в присутствии диамагнитной заправки магнитная обработка влияет на кристаллизацию карбоната кальция. Оптимальные результаты получаются при определенном значении произведения напряженности магнитного поля на скорость потока (порядка  $6 \cdot 10^4 \text{ A/m} \cdot \text{m/s} = 6 \cdot 10^4 \text{ A/c}$ ). Сказанное свидетельствует о том, что при действии магнитных полей на процессы кристаллизации существенную роль играют силы Лоренца.

Представляются принципиально-важными и следующие наблюдения и расчеты М. Л. Михельсона.

При незначительном числе в воде микрочастиц размером менее  $10^{-5} \text{ см}$  спонтанная кристаллизация может начаться только при большом пересыщении раствора. Опыты показали, что она начинается только через несколько минут после начала кипения, когда критическое пересыщение резко возрастает. Сразу после прохождения магнитного поля в растворе возникают микрочастицы размером  $0,1\text{--}0,3 \text{ мкм}$  и начинается снижение

образования накипи. При дальнейшем нагреве частицы значительно укрупняются.

Эффект обработки возможен только при выдерживании оптимальных скорости потока  $v$  (точность не менее 5—7%) и напряженности поля  $H$ ; произведение  $vH$  остается почти постоянным. С увеличением времени пребывания раствора в поле оптимальная его напряженность несколько снижается. Противонакипный эффект можно обнаружить только при необходимом количестве примесей или затравочных частиц (не менее  $3 \cdot 10^5$  —  $3 \cdot 10^6$  см<sup>-3</sup>); он зависит также от интенсивности нагрева и однородности нагреваемой поверхности (во избежание разброса данных).

Магнитная память может быть связана с пониженной на 10—20% растворимостью образовавшихся микрочастиц. Их возникновение в ненасыщенном растворе можно объяснить появлением местных пересыщений, приводящих к нуклеации в магнитном поле вблизи микрочастиц (0,1—1 мкм), связанной с выносом силами Лоренца электрического заряда на эти частицы. Расчеты показывают, что с ростом напряженности магнитного поля происходит то активация, то нейтрализация частиц, чем и объясняется, по мнению автора, периодическая зависимость эффекта от напряженности поля.

С данными М. Л. Михельсона перекликаются результаты опытов М. В. Бабилашвили и Д. В. Гавашели, нашедших, что и микрочастицы, и суспензии стекляннопорошка могут стать более активными центрами кристаллизации лишь после предварительной магнитной обработки суспензии [77, с. 11—13]. Одновременно Д. В. Гавашели и В. П. Пруидзе установлено, что магнитная обработка суспензии порошка из термометрического стекла приводит к увеличению его поверхностной проводимости и изменению знака заряда поверхности частиц [77, с. 26—28]. Все эти данные противоречат мнению, высказанному в работах [17, 75] об исключительной роли в процессе кристаллизации только ферромагнитных частиц.

Одним из наиболее дискуссионных вопросов, касающихся влияния магнитной обработки на кристаллизацию, является следующий: необходимо ли присутствие в растворе парамагнитных коллоидных частиц оксидов железа. Результаты ряда экспериментов показывают,

что изменение показателей кристаллизации происходит только тогда, когда в растворе присутствуют эти частицы. Наиболее четкие результаты получены в работе [75].

Проведены опыты с раствором бикарбоната кальция, приготовленным на бидистилляте, в котором практически полностью отсутствуют примеси железа. В этом случае никакого изменения процесса кристаллизации после омагничивания не наблюдалось. Развивая это направление, В. И. Катков и Е. Ф. Тебенихин [13, с. 276—283] полагают, что магнитная обработка эффективна только при образовании ферромагнитных агрегатов, которые под действием пондеромоторных сил вызывают перемешивание и ускоряют кристаллизацию из пересыщенного раствора, а также играют роль затравок. В подтверждение они приводят результаты опытов с растворами, в которые вводили суспензии магнетита  $Fe_3O_4$  и оксида железа  $Fe_2O_3$ . При магнитной обработке эти частицы коагулируют. Опыты также показали, что эти частицы могут служить центрами кристаллизации и могут значительно ее ускорять [78].

Л. М. Михельсон связывает активирующее действие ферромагнитных частиц с изменением их активности [13, с. 268—273; 37, с. 3—61]. Между тем, имеются сведения о том, что влияние магнитной обработки на кристаллизацию не связано с присутствием в растворе железа в различных формах. Так, В. М. Соколов провел большое число опытов с растворами сульфата кальция в дистиллированной воде, в которую добавлял сульфат железа (0,5 мг/л) на разных стадиях процесса кристаллизации (табл. 4) [79].

Эти данные показывают, что при добавлении сульфата железа перед омагничиванием или после него эффект получается одинаковым. Но в присутствии железа процесс кристаллизации ускоряется. По-видимому, это связано с образованием золя гидроксида железа, играющего роль затравки, т. е. в этом случае одновременно происходит гомогенная и гетерогенная кристаллизация.

Многие наши попытки стабилизировать эффект магнитной обработки добавлением к воде железа (в разных формах) не дали положительных результатов. Об этом же говорит и В. И. Миненко. Известны случаи уменьшения отложения инкrustаций из кислых (рН 1—

Таблица 4. Влияние сульфата железа на кристаллизацию сульфата кальция из его раствора

Схема опыта	Концентрация пересыщенного раствора $\text{CaSO}_4$ , при которой начинается кристаллизация С, г/л	Отношение С к концентрации, соответствующей насыщенному состоянию	Время от начала испарения до начала кристаллизации, мин
Дистиллят → раствор → испарение → кристаллизация	$3,45 \pm 0,15$	2,26	58
Дистиллят → сульфат железа → раствор → испарение → кристаллизация	$3,49 \pm 0,15$	2,28	57
Дистиллят → омагничивание → раствор → испарение → кристаллизация	$3,40 \pm 0,15$	2,26	58
Дистиллят → омагничивание → сульфат железа → раствор → испарение → кристаллизация	$3,34 \pm 0,15$	0,88	22,5
Дистиллят → сульфат железа → омагничивание → раствор → испарение → кристаллизация	$1,35 \pm 0,15$	0,88	23,0

1,5) растворов, ненасыщенных по железу (например, отложений фосфогипса из фосфорной кислоты). Присутствие коллоидных частиц железа в таких растворах является маловероятным.

Таким образом, присутствующие в воде ферромагнитные частицы в определенных условиях оказывают сильное влияние на результаты магнитной обработки. Однако в ряде случаев при должной оптимизации состава воды и определенных условиях обработки эффект ее заметен и в отсутствие железа. М. П. Йовчев в своей работе [80] также отмечает не обязательное присутствие железа. По-видимому, все зависит от конкретных условий опытов. Следует подчеркнуть, что и характер кристаллизации в присутствии затравки может определяться степенью гидратации ионов, присоединяющихся к кристаллам затравки.

Другой дискуссионный вопрос состоит в том, обязательно ли достижение пересыщения раствора перед маг-

нитной обработкой. Ряд авторов полагают, что неравновесность раствора, необходимая для эффективного омагничивания, достигается только при пересыщении раствора солей. Отметим, что отсутствие равновесия может определяться и другими причинами (это рассмотрено подробнее в главе I).

Следует подчеркнуть, что влияние электромагнитного поля на процесс образования фаз обнаруживается и в тех случаях, когда ассоциируются не ионы, а молекулы, например, при замерзании воды (образование зародышей льда) [81]. После действия поля замерзание происходит быстрее и при более высокой температуре. Такие наблюдения сделаны и в нашей лаборатории.

О том, как велика роль многих неучитываемых факторов режима магнитной обработки в процессе кристаллизации, можно судить по результатам работы Дж. Мюллера и Х. Маршера [82]. Они выполнили много экспериментов, но мало уделили внимания режиму обработки. Они пришли к выводу, что «... ранние сообщения о положительных результатах магнитной обработки воды не выдерживают критики». Это находится в полном противоречии с многочисленными практическими результатами магнитной обработки воды.

В некоторых работах отмечено изменение состава и кристаллической модификации образующейся фазы после магнитной обработки раствора. При обработке воды перед нагревом образуется карбонат кальция в виде кальцита, а иногда и в виде арагонита [78], что зависит от степени пересыщения раствора, определяемой концентрацией свободного диоксида углерода. Чем выше эта концентрация, тем вероятнее образование арагонита. Н. И. Елисеев, М. В. Кирбитова и В. И. Классен установили, что после магнитной обработки раствора азотнокислого свинца и щелочи образуются кристаллы карбоната свинца, а не гидроксида свинца (рис. 32) [83]. Это установлено рентгенографическим, электронографическим и химическим анализами, а также методом ИК-спектроскопии. Вероятно, образование кристаллов карбоната свинца после магнитной обработки является следствием увеличения содержания в растворе диоксида углерода, обусловленного абсорбцией его из воздуха или распадом бикарбонатов.

Кроме изменения размеров кристаллов, магнитная обработка водных растворов в отдельных случаях ока-

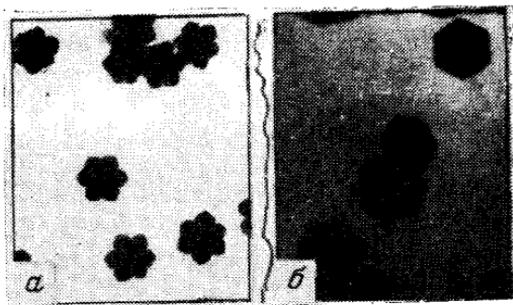


Рис. 32. Кристаллы, образующиеся после смешивания водного раствора нитрата свинца с щелочью ( $\times 2400$ ):  
*а* — в обычных условиях; *б* — после магнитной обработки раствора.

зывает влияние и на их «псевдоукрупнение» путем агломерации. Например, обширные исследования [84] магнитной обработки принципиально подтвердили общие закономерности, изложенные выше. Подтверждена и полиэкстремальная зависимость эффекта от напряженности магнитного поля. Но одновременно в ряде случаев отмечено существенное укрупнение кристаллов хлористого калия с уменьшением содержания мелкозернистых фракций. Это происходит вследствие образования прочных агломератов мелких частиц.

Особого внимания заслуживает вопрос о кристаллизации воды при ее замерзании (образовании льда). Л. Н. Ефанов с соавторами отметили, что омагничивание воды и водных растворов анилина и сахарозы существенно (на  $0,2^\circ$ ) изменяет их температуру замерзания. Это фиксируется только при измерении температуры термистором и, в гораздо меньшей степени термометром Бекмана [250, с. 104].

Следует упомянуть о совместном действии на кристаллизацию магнитных полей и перемешивания раствора. Само по себе перемешивание обычно интенсифицирует возникновение и рост кристаллов. Но в сочетании с магнитным полем процесс протекает еще интенсивнее. Эта закономерность выявлена наиболее четко при исследовании действия магнитной обработки на кинетику кристаллизации солей жесткости [85, 86]. Результаты этих опытов хорошо подчиняются общим закономерностям, выявляющим наличие оптимальной турбулизации

потока раствора в межполюсном пространстве, способствующей изменению многих других (кроме кристаллизации) свойств водных систем.

### Полимеризация

Ускорение полимеризации акрилонитрила после воздействия низкочастотного (10 Гц) электромагнитного поля на водный раствор мономера установлено Пиккарди, который использовал этот феномен в качестве одного из индикаторов действия внешних наводок [87]. В нашей лаборатории были проведены развернутые исследования влияния магнитной обработки дистиллированной воды (удельная электропроводность порядка  $100 \text{ мкОм}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ ) и водного раствора мономера на полимеризацию и свойства полиакриламидного геля [88, 89].

Статистически достоверно установлено, что если подвергнуть магнитной обработке дистиллированную воду, а затем внести в нее мономер и провести полимеризацию, то пробег белков в полученном полиакриламидном геле уменьшается. Если же подвергнуть магнитной обработке раствор мономера в дистиллированной воде, то этот пробег в полученном полиакриламидном геле возрастает (табл. 5).

Известно, что подвижность белков зависит от структуры геля, на которую, очевидно, и влияет магнитная обработка. Это подтверждено не только косвенным ме-

Таблица 5. Влияние магнитной обработки на пробег белков (альбумина) в полиакриламидном геле

Условия опыта	Число опытов	Средняя длина пробега, мм	Доверительный интервал	Изменение длины пробега, %
<i>Омагничивание дистиллированной воды</i>				
С магнитной обработкой	8	63,5	$\pm 0,7$	-7,3
Без магнитной обработки	8	68,5	$\pm 0,7$	
<i>Омагничивание водного раствора мономера</i>				
С магнитной обработкой	7	67,0	$\pm 1,3$	+9,1
Без магнитной обработки	7	61,4	$\pm 0,9$	

Таблица 6. Влияние магнитной обработки водного раствора мономера на процесс полимеризации

Концентрация геля, %	Концентрация акриламида в геле, моль/см <sup>3</sup>		$\frac{C-C_1}{C} \cdot 100\%$
	без магнитной обработки (C)	с магнитной обработкой (C <sub>1</sub> )	
3,5	4,5	2,7	40
7	7,0	3,4	51
11	7,5	5,3	29
17	6,2	6,2	0

тодом (определением изменения пробега белков), но и несколькими прямыми методами. Методом газовой хроматографии установлено, что степень полимеризации (оцениваемая по количеству свободного акриламида в геле) после магнитной обработки достаточно разбавленных растворов мономера заметно повышается. Чем разбавленнее раствор, тем больше этот эффект. Для растворов мономера высокой концентрации он не наблюдается (табл. 6).

Методами ЯМР и ИК-спектроскопии установлено, что при магнитной обработке раствора мономера время спин-спиновой релаксации протонов полимера в геле изменяется на 15—20%, а также уменьшается интенсивность поглощения в области валентных и особенно деформационных колебаний.

Позже близкие результаты были получены Н. К. Зайцевой [62, с. 104—105], исследовавшей действие магнитной обработки воды на полимеризацию акрилонитрила. Отличие ее опытов состоит в том, что она использовала слабые (170 А/м) низкочастотные (0,5 Гц) поля и дистиллированную воду помещала в поле на 6 ч. В разные периоды наблюдались положительные и отрицательные отклонения от контрольных образцов.

Таким образом, различными экспериментальными методами установлено, что магнитная обработка водного раствора мономера положительно влияет на его последующую полимеризацию; это может быть использовано в практических целях.

Если магнитная обработка водных систем влияет на характер взаимодействия молекул воды друг с другом, то при этом должна изменяться и степень смачивания твердых поверхностей. Косвенным доводом в пользу того, что такое изменение возможно, служат данные В. Г. Зарембы и Г. Л. Михневича о разрушении ориентированной структуры жидкости в пристенных слоях под воздействием электромагнитного поля [90]. Первые экспериментальные данные о влиянии магнитной обработки дистиллированной воды на степень смачивания ею твердых поверхностей получены нами и Р. М. Маланыным измерением гистерезисных краевых углов смачивания и теплот смачивания [91]. Затем И. Н. Плаксин, Г. Н. Хажинская и С. А. Стецкая, подвергая магнитной обработке также дистиллированную воду (удельная электропроводность  $3 \text{ мСм} \cdot \text{м}^{-1}$ ) подтвердили статистически достоверное изменение смачивания омагниченной водой ряда сульфидных и несульфидных минералов: пирита, халькозина, халькопирита, а также касситерита, рутила и гюбнерита. Как видно из рис. 33, *а*, зависимость краевого угла смачивания от напряженности магнитного поля носит полнэкстремальный характер. Увеличение краевого угла смачивания на 6—8% далеко выходит за пределы погрешности опыта [92].

Результаты первых опытов показали, что омагниченная вода хуже смачивает любую поверхность. Однако дальнейшие опыты В. И. Классена, Г. Н. Хажинской и С. А. Стецкой показали, что поверхность минералов, содержащих диоксид кремния, наоборот, такой водой смачивается лучше: краевой угол смачивания достоверно уменьшается (рис. 33, *б*) [73]. Это было проверено многократно и разными методами. Например, краевые углы смачивания, образуемые на кварцевой пластинке каплями омагниченных разбавленных растворов  $\text{KNO}_3$  и  $\text{NaNO}_3$ , на 6—9° меньше углов при смачивании каплями неомагниченных растворов [94]. Степень поглощения воды песчанником (капиллярная пропитка) также изменяется: 1 г песчанника поглощает 6—7 мг обычной воды и 8—9 мг омагниченной (т. е. на 10—15% больше) [95]. Возможно в дальнейшем будут обнаружены и другие особенности влияния омагничивания на смачи-

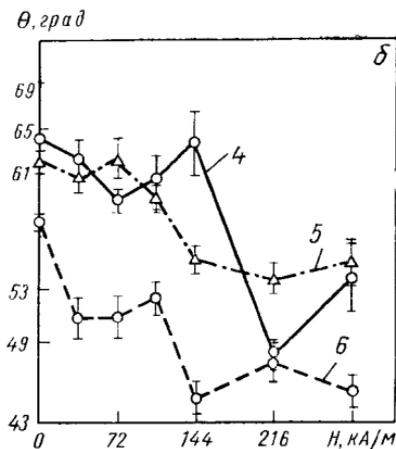
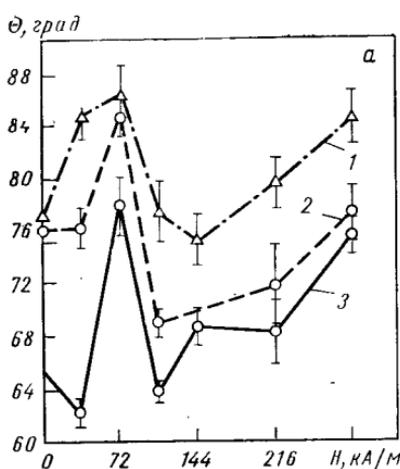


Рис. 33. Влияние напряженности магнитного поля при омагничивании дистиллированной воды на краевой угол смачивания ею минералов, не содержащих (а) и содержащих (б) кремний:

1 — касситерит; 2 — рутил; 3 — гюбнерит; 4 — кварц; 5 — диоксид кремния; 6 — опал.

вающую способность воды. Причины столь аномального влияния групп  $\text{SiO}_2$  пока не ясны. Это способствует успешному применению магнитной обработки технической воды при мокром улавливании пыли.

По-видимому, изменение смачиваемости твердых поверхностей омагниченной водой может быть связано с изменением сцепления между молекулами воды и их взаимным «оттягиванием» от поверхности. Значительную роль может играть и изменение формирования поверхностных гидратных слоев, структура и свойства которых зависят не только от заряда поверхности, но и от степени соответствия топографии ее активных центров структуре воды.

Представляет большой интерес установление причины аномального изменения смачивания омагниченной водой кремнийсодержащих поверхностей. Один из возможных подходов к объяснению этого явления может быть осуществлен с учетом результатов опытов с порошками стекол, проведенных в Институте неорганической химии и электрохимии АН Груз. ССР под общим руководством Л. Н. Джапаридзе [77, 96].

Этими работами показано, что магнитная обработка воды вызывает усиление сорбции ионов водорода в поверхностных слоях частиц стекла, что сопровождается вытеснением с поверхности ионов натрия и других щелочноземельных металлов. В жидкой фазе суспензии стекла  $pNa$  уменьшается с 1,14 до 1,04, а  $pH$  увеличивается с 6,7 до 8,0 [96, с. 40]. Изменение концентрации ионов водорода и, следовательно, гидроксила обуславливает более развитые водородные связи молекул воды с поверхностью, способствует повышению гидратации и гидрофилизации поверхности. Заслуживает также внимания и предположение о геометрическом соответствии структур кремнийсодержащей поверхности и омагниченной воды, приводящем к так называемой эпитаксии. Вообще говоря, гидратация (смачиваемость) поверхности минералов, как показал В. И. Осипов, во многом носит эпитаксиальный характер. И изменение структуры водных систем именно по этой причине может влиять на смачивание.

#### Коагуляция

Процесс слипания взвешенных в воде частиц зависит от степени гидратации и величины электрокинетического потенциала их поверхности. Изменение смачиваемости твердых поверхностей после магнитной обработки воды, описанное выше, должно оказывать влияние на коагуляцию, что установлено многими разнохарактерными опытами в лабораторном и промышленном масштабах. В большинстве случаев магнитной обработке подвергали различные суспензии. Это позволяло предполагать, что коагуляция связана с различными воздействиями на твердые частицы. Однако результаты некоторых опытов показывают, что предварительная магнитная обработка воды, в которую затем были введены твердые частицы, также влияет на степень их коагуляции.

В. И. Классен и Ю. З. Зиновьев экспериментально установили, что при оптимизированном процессе магнитной обработки дистиллированной воды (удельная электропроводность порядка  $0,1-1 \text{ мСм} \cdot \text{м}^{-1}$ ) скорость коагуляции частиц каолина и глинистого сланца размером менее  $74 \text{ мкм}$  возрастает [97]. Ускорение оседания суспензии после предварительного омагничивания ее

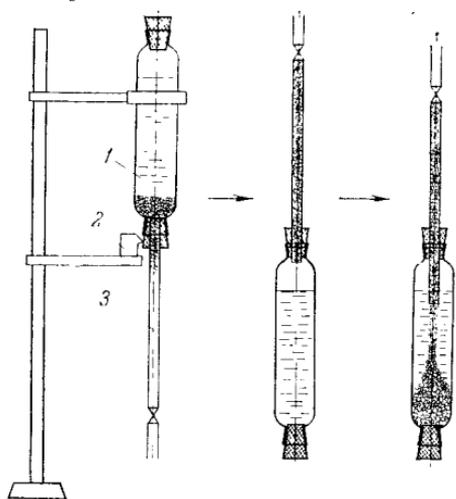


Рис. 34. Схема прибора для количественной оценки степени сцепления твердых частиц в осадке методом А. Ваксундского:

1 — стеклянный сосуд; 2 — вибратор; 3 — трубка.

жидкой фазы — бидистиллята и растворов солей подтверждается результатами работы [98].

Я. Д. Климашин и С. А. Павлович получили такие же результаты, помещая измель-

ченный феррит в предварительно омагниченную воду. Эффект ускорения коагуляции в этом случае был настолько четким, что ими предложено использовать данный метод для фиксации изменения свойств воды после магнитной обработки [99].

Ускорение коагуляции и связанное с этим увеличение агрегативной неустойчивости суспензий после их магнитной обработки фиксировались неоднократно многими авторами. Прежде всего, имеются данные об изменении электрокинетического потенциала частиц железа и алюминия. При этом отмечено существование минимального потенциала при определенной напряженности магнитного поля [100].

О. И. Ушаков с соавторами исследовали влияние магнитной обработки водных суспензий барита и белой сажи на их коагуляцию. Они применили для этой цели ультрамикроскопический метод Б. В. Дерягина. Концентрацию золь в освещаемом потоке оценивали по числу вспышек, для регистрации которых использовали электронную схему. Ими установлено, что в ряде опытов размеры частиц золя барита увеличиваются в два раза, а белой сажи — в 1,5 раза [101].

А. И. Шахов и С. С. Душкин отметили, что при магнитной обработке природной воды скорость ее осветления увеличивается на 20—90% [102]. Они же установили, что скорость коагуляции гидроксидов алюминия и

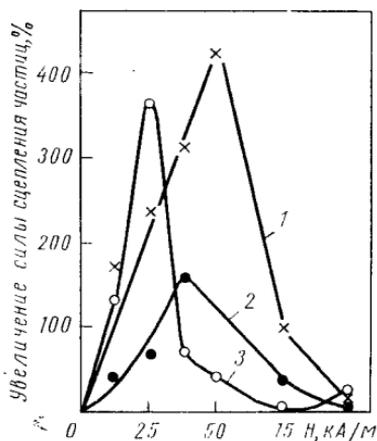
Рис. 35. Влияние магнитной обработки дистиллята на силу сцепления в осадке частиц апатита (1), барита (2) и углистого сланца (3).

железа возрастает в 1,4 раза [100]. Мы также фиксировали подобные изменения для различных систем [103]. Этот эффект использовали для улучшения процессов сгущения суспензий.

Данные об уменьшении агрегативной устойчивости суспензий после магнитной обработки хорошо согласуются с данными о росте сил сцепления твердых частиц в конденсированных системах (осадках, грунтах).

В. И. Классен, В. П. Литовко и Э. П. Русская определяли силы сцепления частиц методом А. Ваксмундского: фиксировали время начала и конца высыпания монодисперсных порошков из осадка в трубке, нижний конец которой был погружен в воду (рис. 34). Осадок из сосуда 1 переводят в трубку 2, уплотняют стандартной вибрацией, а затем сосуд поворачивают на 180°. Проводя опыты с частицами разного размера, находят размер частиц, при котором они начинают высыпаться из трубки в воду. Время высыпания фиксируют, силу сцепления определяют по массе в воде частицы, которая отрывается от других частиц. Результаты опытов показали, что в омагниченной при оптимальном режиме дистиллированной воде (с удельной электропроводностью  $150 \text{ мкСм} \cdot \text{м}^{-1}$ ) сила сцепления частиц возрастает в 1,5—4 раза (рис. 35). Оценка предельного напряжения сдвига осадков углистого сланца методом Ребиндера — Семиненко (вдавливанием шарика) также показала значительное упрочнение структуры; эффект возрастает с увеличением плотности осадка. «Память» омагниченной воды — время сохранения ею изменения силы сцепления частиц — составляет 2—4 ч (рис. 36) [13, с. 203—209].

Л. П. Черняк, И. П. Нестеренко, С. П. Ничипоренко и Р. М. Зайонц, исследуя изменение структуры глини-



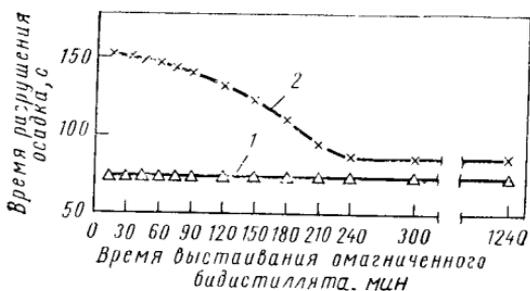


Рис 36. Влияние времени выстояния бидистиллята после омагничивания на кинетику разрушения осадка:

1 — без магнитной обработки; 2 — омагниченный бидистиллят.

стых тел, приготовленных на омагниченной воде, обнаружили значительное увеличение сил сцепления между глинистыми частицами и упрочнение коагуляционной структуры — увеличение предела текучести, наибольшей пластической вязкости. Это подтверждено также результатами, полученными методами рентгеновского и электронно-микроскопического анализов [104].

Р. П. Заднепровский установил усиление липкости грунтов (суглинка) — их прилипание к твердым поверхностям в том случае, когда грунты были увлажнены омагниченной, а не обычной водой [105]. Число подобных наблюдений достаточно велико. С этими результатами согласуются и результаты исследований влияния магнитной обработки на процесс коагуляции синтетического латекса [24, с. 190—194]. Подобные результаты получены Н. И. Елисеевым, Н. В. Кирбитовой и Н. Г. Пирамидиной при изучении коагуляции осадков в растворах нитрата свинца, сульфатов цинка и меди и едкого кали после их магнитной обработки (рис. 37) [106]. Большинство перечисленных опытов проведено с суспензиями, твердая фаза которых практически немагнитна, и поэтому нельзя объяснить слипание частиц их намагничиванием.

В некоторых случаях лабораторными опытами не удается зафиксировать увеличение скорости оседания суспензий после магнитной обработки (иногда наблюдается даже пептизация суспензии). Обычно тщательным регулированием режима обработки и в этих случаях удается добиться эффекта коагуляции (например, изме-

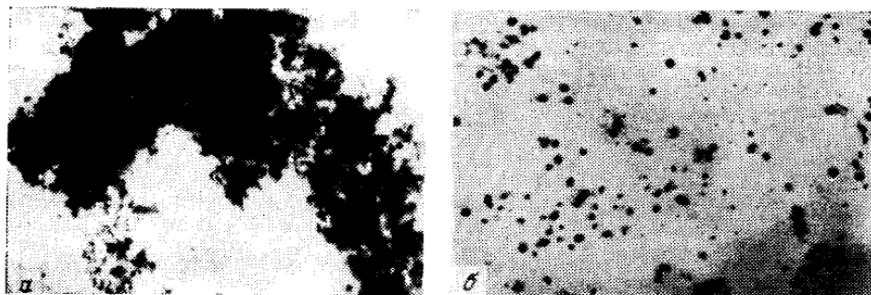


Рис. 37. Коагуляция частиц осадка в системе  $ZnSO_4-KOH$  после магнитной обработки (а) и (б) — без магнитной обработки ( $\times 500$ ).

нением рН среды). Примером того, что не всегда удается добиться результатов в лабораторных условиях, является работа Р. Калверли и А. Рида [107]. Они проводили опыты с каолиновой суспензией. Чтобы получить чистую границу осветленного слоя, они ввели значительное количество электролита (концентрация  $BaCl_2$  составляла 450 мг/л). При такой коагуляции, конечно, невозможно заметить влияние магнитной обработки, мы это проверили экспериментально. Если же снизить концентрацию  $BaCl_2$  до 45 мг/л и оценивать оседание не визуалью, по перемещению границы осветленного слоя, а при помощи нефелометра, то влияние магнитной обработки на процесс коагуляции обнаруживается. Следует отметить, что подобное влияние подтверждено опытами Д. Оцепека и использовано им на практике [108].

#### Испарение — замораживание

Многие изменения физико-химических свойств водных систем после омагничивания должны были отразиться и на фазовых переходах воды — на кинетике ее испарения и замораживания.

И. Габикар и Ф. Айнхорн изучали воздействие электромагнитного поля, возбуждаемого переменным электрическим полем, на скорость испарения бидистиллята. Воду помещали в электрическое переменное поле на 10 ч. Скорость испарения при нормальном давлении воздуха и постоянной температуре (ее отклонение находилось в пределах  $\pm 1\%$ ) определяли по изменению

Таблица 7. Время полной осушки пластинок алебастра, смоченных обычной и омагниченной водой

Время осушки, мин		Уменьшение времени осушки при омагничивании, %	Время осушки, мин		Уменьшение времени осушки при омагничивании воды, %
вода обычная	вода омагниченная		вода обычная	вода омагниченная	
64,3	43,3	32,6	50,8	37,3	25,6
74,8	64,3	14,0	78,0	69,0	11,5
43,3	37,3	13,9	50,8	43,3	11,5
48,0	43,3	9,7	93,0	78,0	16,1

объема и массы воды. Статистически обработанные данные свидетельствуют о том, что скорость испарения обработанной воды на 11% выше скорости испарения необработанной [109].

Д. Ф. Файзуллаев, С. Джурабеков, А. А. Шакирова и С. Абидов смачивали одинаковые алебастровые пластинки обычной и омагниченной водопроводной водой. Пластинки сушили при 150°C и одновременно определяли их электропроводность. По мере осушки электропроводность пластинок снижалась и достигала постоянной величины при полной осушке (табл. 7) [58]. Эти данные свидетельствуют о влиянии магнитной обработки на увеличение скорости осушки (в рассматриваемом случае может играть роль также изменение растворения алебастра в воде и сорбции воды в порах пластинки).

Можно было предполагать, что процесс фазового перехода воды из жидкого состояния в лед должен быть чувствителен к воздействию внешних силовых полей. Это и было доказано экспериментально Л. А. Бантыш [110]. Она установила, что время кристаллизации воды в лед в постоянном магнитном поле сокращается на 25—40%. Как видно из приведенных ниже данных, зависимость сокращения времени кристаллизации от напряженности магнитного поля имеет экстремальный характер:

Напряженность магнитного поля, кА/м	0	40	80	120	200
Число кристаллов	1600	850	750	1200	1500
Время кристаллизации, %	100	73	57	63	73

\* Опыты проводили с достаточно чистым бидистиллятом (удельное сопротивление  $1,4 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ ).

Более быстрой кристаллизации соответствует укрупнение кристаллов и уменьшение их числа (что не вполне объяснимо).

#### Электрохимические эффекты

Многочисленные изменения в гетерогенных системах, вызываемые магнитными воздействиями, не могут, естественно, не отразиться на электрохимических процессах, протекающих на поверхности раздела фаз. Следует отметить ограниченность и несистематичность проведенных исследований в этой области. В литературе имеются некоторые сведения об изменении электрокинетического потенциала зольей гидроксидов железа и алюминия [111]. Первые получали гидролизом кипящего раствора хлористого железа и диализом; вторые — осаждением хлористого алюминия аммиаком и диализом. В работе отмечено, что при оптимальной напряженности магнитного поля в процессе магнитной обработки электрокинетический потенциал уменьшается примерно на 10—15%.

Н. Г. Ключников и Е. В. Верижская [112] исследовали влияние магнитной обработки на процесс коррозии Стали 20 в растворах соляной, серной, уксусной и хлорной кислот (все кислоты марки хч). Растворы, приготовляемые на дистиллированной воде, подвергали магнитной обработке. Для этого их пропускали через семь пар электромагнитов с переменной поляризованностью при средней напряженности поля 8, 24, 40 и 56 кА/м. Все опыты проводили в сосудах из стекла «Пирекс»; скорость потока кислот в магнитных полях составляла 2,5 м/мин (подобрана как оптимальная). В опытах исследованы изменение величины потенциала Стали 20 во времени и зависимость скорости реакций, протекающих на электродах (из Стали 20), от этого потенциала. Потенциал электрода измеряли потенциометром ЛПУ-С1; поляризационные кривые снимали гальваностатическим способом.

Опытами установлено, что омагничивание растворов кислот при определенных напряженностях полей приводит к снижению поляризации катода при плотности тока 1 А/см<sup>2</sup>; при другой напряженности поляризация, наоборот, возрастает (табл. 8). Соответственно в значительной степени изменяется и поляризация анода. Та-

Таблица 8. Влияние магнитной обработки растворов кислот на поляризацию электродов  $\Delta\phi$  и величину тафелевского коэффициента  $b$

Напряженность магнитного поля, кА/м	Соляная, г-экв/л				Серная, г-экв/л			
	0,5		7,0		0,5		7,0	
	$\Delta\phi$	$b$	$\Delta\phi$	$b$	$\Delta\phi$	$b$	$\Delta\phi$	$b$
<i>Поляризация катода</i>								
0	0,420	0,140	0,310	0,120	0,318	0,128	0,262	0,108
24	0,345	0,110	0,175	0,065	—	—	—	—
40	0,515	0,160	0,335	0,130	0,248	0,072	0,182	0,078
<i>Поляризация анода</i>								
0	0,175	0,060	0,190	0,085	0,114	0,057	0,164	0,072
24	0,155	0,045	0,120	0,055	—	—	—	—
40	0,250	0,080	0,245	0,100	0,085	0,033	0,102	0,048

ким образом, магнитная обработка влияет одновременно на оба сопряженных электродных процесса. Изменение коэффициента  $b$  свидетельствует о влиянии обработки на энергию активации процесса. Знак изменения для различных кислот различен, зависимость от напряженности поля полиэкстремальна.

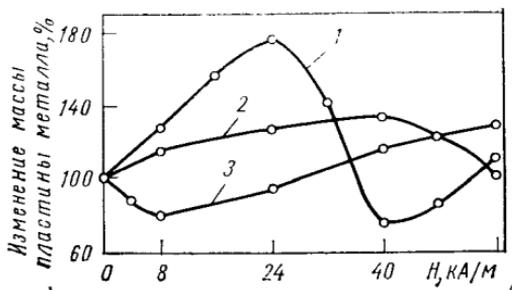
Исследовано также влияние магнитной обработки растворов кислот на процесс коррозии меди (марки «электролитная») и никеля (марки НО) гравиметрическим методом со статистической оценкой достоверности результатов.

Во всех случаях магнитная обработка растворов кислот значительно влияла на коррозию металлов; зависимость скорости коррозии от напряженности поля — экстремальная (рис. 38, табл. 9). Аналогичная зависимость наблюдается и для никеля. При напряженности поля 23,9 кА/м скорость коррозии никеля, как и стали, почти удваивается, а при 39,8 кА/м снижается на 30%. Несколько иные результаты получены для меди и алюминия: скорость коррозии этих металлов в соляной кислоте изменяется на 20—60%. При омагничивании уксусной кислоты скорость коррозии стали уменьшается в 1,2—2,1 раза.

Итак, согласно этим исследованиям, при магнитной обработке растворов кислот скорость коррозии возра-

Рис. 38. Изменение скорости коррозии Стали 20 в омагниченных растворах кислот при разной напряженности поля:

1 — соляная кислота; 2 — серная; 3 — уксусная.



стает и тем больше, чем выше концентрация раствора. Однако во многих работах отмечается возможность снижения скорости коррозии в омагниченных растворах. Очевидно, это связано с условиями, в которых проводилась магнитная обработка.

Природа аниона кислоты влияет больше на знак эффекта, а рН — на его величину. У ферромагнетиков эффект более значителен, чем у диа- и парамагнетиков.

Различное влияние магнитной обработки растворов на скорость коррозии отмечено и другими авторами: Б. П. Татариновым [35], М. П. Йовчевым [80] и др. В последней работе сообщается об уменьшении скорости коррозии, которое М. П. Йовчев связывает с образованием плотного защитного слоя на поверхности металла.

Существенный интерес представляют опыты Е. Ф. Тебенихина, З. Ф. Прониной и В. С. Рыбальченко, прове-

Таблица 9. Влияние магнитной обработки раствора соляной кислоты на скорость коррозии Стали 20, г/(м<sup>2</sup>·ч)

Напряженность магнитного поля, кА/м	Концентрация кислоты, г-экв/л			
	0,5	1,0	3,5	7,0
0	0,92	1,65	4,09	25,40
8	1,06	2,09	5,37	35,57
16	1,25	2,63	6,97	44,55
20	1,31	2,82	7,64	48,54
24	1,38	2,94	7,87	50,42
28	1,25	2,79	6,93	44,57
32	1,10	2,38	5,00	34,20
36	0,87	1,87	3,97	26,77
40	0,66	1,27	3,33	23,35
44	0,80	1,39	3,51	25,32
48	0,77	1,46	3,84	26,16
56	1,02	1,87	4,87	32,58

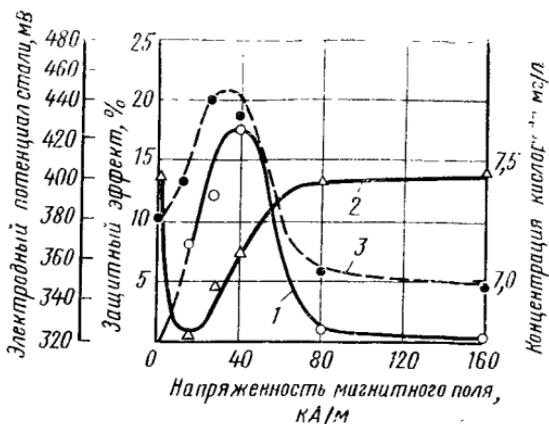


Рис. 39. Влияние магнитной обработки водного раствора NaCl на коррозию (1), концентрацию кислорода в растворе (2) и электродный потенциал стали по истечении 1 ч (3).

денные на лабораторном стенде и в полупроизводственных условиях [75]. Коррозионной средой являлся раствор NaCl в дистиллированной воде ( $150 \text{ мг/л Cl}^-$ ); коррозии подвергались пластинки из стали 40ХН. Коррозию оценивали весовым и химическим способами; определяли также концентрации в растворе  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  и pH среды. Вода протекала со скоростью  $1,5 \text{ м/с}$  по стеклянной трубке, четырежды пересекая магнитное поле напряженностью от  $1,36 \cdot 10^4$  до  $16 \cdot 10^4 \text{ А/м}$ . Опыты длились по 6 ч при  $100^\circ\text{C}$ . Противокоррозионный (защитный) эффект  $Z$  вычисляли по формуле

$$Z = \frac{K_{\text{к}} - K_{\text{мп}}}{K_{\text{к}}} \cdot 100\%$$

где  $K_{\text{к}}$  и  $K_{\text{мп}}$  — потеря массы пластинки, очищенной от продуктов коррозии, соответственно, в контрольном и омагниченном растворах,  $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ .

Электрохимический контроль осуществляли определением потенциалов стальных пластин (электродов) в исследуемых растворах по отношению к хлорсеребряному электроду сравнения при помощи катодного вольтметра ЛПП-60М.

Результаты опытов, приведенные на рис. 39, показали снижение коррозии в данных условиях; зависимость снижения коррозии от напряженности магнитного поля

имеет экстремальный характер. Замечено также, что противокоррозионные свойства омагниченного раствора сохраняются более суток, но постепенно снижаются (через 24 ч на 40—50%). Эти закономерности хорошо соответствуют многим другим зависимостям, установленным при магнитной обработке водных систем.

При определении стационарных электродных потенциалов установлено, что после магнитной обработки раствора электродный потенциал стальных пластин изменяется симбатно защитному эффекту. С ростом напряженности магнитного поля до  $2,4 \cdot 10^4$  А/м увеличивается электроотрицательное значение электродных потенциалов, затем они становятся электроположительными. В первом случае, очевидно, происходит торможение катодного процесса, протекающего с катодной деполаризацией, что соответствует некоторому снижению в этой области концентрации кислорода в растворе. Однако концентрация кислорода уменьшается очень незначительно и едва ли может быть единственным фактором, обуславливающим уменьшение коррозии. Возможно, велика роль степени активности кислорода. В описываемой работе не нашла также отражения возможная роль ионов хлора.

В полупромышленных условиях такой же раствор NaCl с рН 5,6—5,7 циркулировал со скоростью 2 м/с в контуре, проходя 65—70 раз магнитное поле напряженностью 41 кА/м. Продолжительность цикла составляла 48 ч. В этих условиях коррозия пластин алюминия снизилась на 88%, Стали 45 — на 87% и чугуна — на 68%.

Имеются данные об изменении коррозионной агрессивности невольской воды по отношению к железу после ее магнитной обработки. Установлено снижение коррозионной агрессивности на 30—50% (Н. С. Кузьмина, З. К. Киселева, М. Н. Сержанова).

Н. И. Елисеев и Ф. И. Нагирняк исследовали методом снятия полярографических кривых на ртутном капельном электроде влияние магнитной обработки 0,01 н водных растворов KCl и NaNO<sub>3</sub> на величину максимума первого рода при восстановлении кислорода до пероксида водорода [113]. Установлена периодическая зависимость силы тока (изменение от 50 до 32 мкА) в максимуме первого рода от напряженности магнитного поля, т. е. сила тока снижается, но на разную величину.

С увеличением кратности обработки непрерывно снижается величина максимума первого рода, возникающего в области появления первой волны восстановления кислорода, а также сдвигается максимум к началу координат.

Н. И. Мелихова и С. Ф. Дудкин исследовали влияние магнитной обработки на изменение свойств и электрохимическое поведение водных растворов электролитов. Исследовалось изменение гидратации некоторых ионов и их адсорбция на границе раствор — воздух, оцениваемая по величине поверхностного натяжения. Последнее определялось с большой точностью при помощи сталагмометра Траубе. На бидистиллированной воде готовились растворы разных концентраций солей NaCl, KF, FeSO<sub>4</sub> и K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>] марки хч. Обработку проводили при разной напряженности магнитного поля.

Результаты опытов показали, что существенное изменение поверхностного натяжения наблюдается при омагничивании растворов, содержащих ионы железа. В этом случае изменяются величина и знак адсорбции соли FeSO<sub>4</sub> на границе раствор — воздух. На рис. 40 приведены результаты влияния омагничивания водных растворов FeSO<sub>4</sub> разной концентрации на адсорбцию. После магнитной обработки величина отрицательной адсорбции значительно ниже, а начиная с концентрации 1,1 моль/л величины адсорбции имеют отрицательное значение. Авторы работы делают вывод о том, что после магнитной обработки снижается гидратация катионов Fe<sup>2+</sup>, а гидратация иона SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> почти не изменяется.

Обработка раствора FeSO<sub>4</sub> магнитным полем влияет и на его последующее электрохимическое поведение. Исследование потенциостатических анодных поляризационных кривых на  $\omega$ -электроде в 0,5 М и 1 М растворах FeSO<sub>4</sub> показало, что в растворах, прошедших магнитную обработку, возрастает сила тока в области анодных значений потенциалов. Это указывает на возрастание скорости анодных реакций в растворах, прошедших магнитную обработку.

Необычные результаты получили Л. Н. Джапаридзе, В. П. Пруидзе и Р. В. Чагунава [114]. Они отметили изменение знака заряда электрокинетического потенциала капилляров диафрагмы из молибденового стекла после пропускания через нее омагниченной дистиллиро-

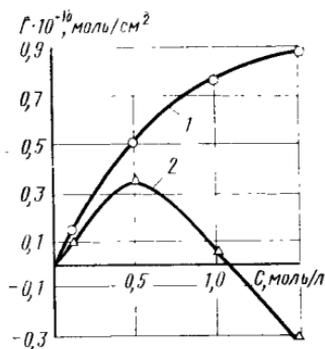


Рис. 40. Зависимость адсорбции  $\text{Fe}^{2+}$  на границе раздела раствор — газ от концентрации раствора:

1 — без магнитной обработки; 2 — после магнитной обработки.

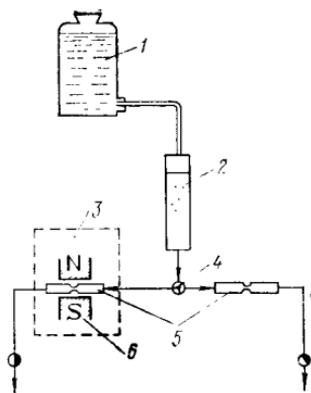


Рис. 41. Схема установки для получения деионизованной воды и ее омагничивания:

1 — дистиллированная вода; 2 — ионообменная колонка (со смесью катионита КУ-2 в Н-форме и анионита АВ-17 в ОН-форме); 3 — экран; 4 — кран; 5 — стеклянные трубки; 6 — магнит.

ванной воды. Такая перезарядка диафрагмы наблюдается уже при напряженности поля 637 А/м и сохраняется несколько месяцев. Если через такую диафрагму пропустить обычную дистиллированную воду, то последняя приобретает антинакипные свойства. Эти работы перекликаются с более поздними исследованиями, проведенными в том же Институте неорганической химии и электрохимии Академии наук Груз. ССР [77, 96].

Природа изменения электрохимических характеристик омагниченной водой требует дальнейших исследований.

#### Ионный обмен и отмывка сорбентов

Первые результаты по изучению влияния магнитной обработки растворов на ионный обмен опубликованы И. К. Цитовичем [115]. Используя данные о влиянии магнитной обработки на гидратацию ионов, он исследовал ионообменную сорбцию меди, цинка, кальция и железа на синтетическом органическом носителе (Н-катионитом КУ-2) и неорганическом катионите (хроматографирующим оксидом алюминия). Концентрация рас-

Таблица 10. Влияние магнитной обработки на ионообменное равновесие между различными сорбентами и катионами раствора

Варианты обработки	Коэффициент распределения катионов между ионитами и раствором						
	Н-катионит КУ-2				хроматографирующий оксид алюминия (III)		
	Си	Zn	Ca	Fe	Си	Zn	Ca
Без магнитной обработки	382,76	598,25	547,05	429,66	158,66	97,79	9,70
После магнитной обработки							
раствора	400,0	614,28	562,64	489,66	187,86	101,61	10,66
суспензии сорбента	430,00	614,28	554,76	500,96	199,38	106,61	13,04
раствора и суспензии сорбента	430,00	631,70	554,76	481,39	181,68	106,61	11,82

творов составляла 10 мг-экв ионов в 1 л. Растворы контактировали с ионитами до установления ионообменного равновесия. Результаты опытов, приведенные в табл. 10, показывают, что магнитная обработка растворов перед контактированием с ионитами вызывает заметное смещение ионообменного равновесия в сторону повышения адсорбции всех указанных катионов. Магнитная обработка оказывает не одинаковое влияние на обменную сорбцию различных ионов, что может открыть новые возможности в хроматографическом анализе. Отмечено также некоторое повышение динамической обменной емкости Н-катионита КУ-2 по катиону кальция.

Г. М. Иванова применяла сульфуголь, анниониты АВ-17 и IRA-410 с ионами  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Cl^{-}$ ,  $SO_4^{2-}$  и во всех случаях обнаружила увеличение емкости поглощения. Максимальный эффект был получен на сульфуголе в Н-форме с катионом кальция; повышение емкости поглощения в этом случае составило 25,8% [13, с. 258—261]. Эти результаты были подтверждены опытами в промышленном масштабе на разных предприятиях.

О. Т. Крылов изучил влияние магнитной обработки раствора хлористого кальция на кинетику сорбции иона кальция катионитом КУ-2 в Н-форме. Установлено, что обработка значительно увеличивает скорость процесса: константа скорости сорбции возрастает на 35%.

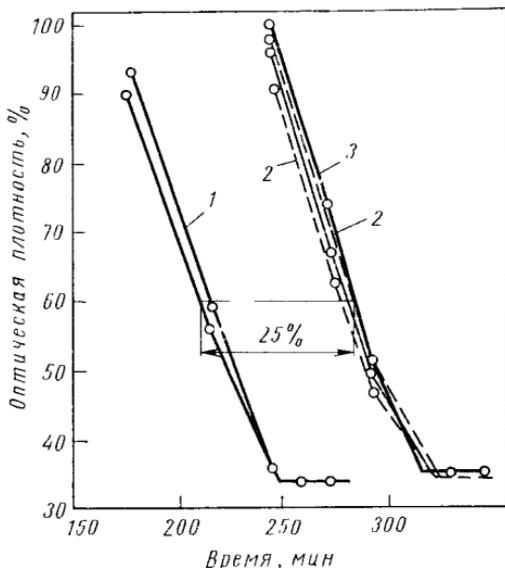


Рис. 42. Влияние магнитной обработки физиологического раствора на набухание и разрушение добавленных к нему эритроцитов: 1 — омагниченный раствор; 2 — омагниченный раствор, подвергнутый кипячению и охлаждению; 3 — обычный раствор.

Представляется важным проверить, как влияет омагничивание водных систем на отмывку ими ионитов от сорбированных веществ. В нашей лаборатории этот вопрос был исследован в лабораторных и промышленных условиях.

О. Т. Крылов изучил влияние омагничивания глубоководной воды с удельной электропроводностью  $5,31 \cdot 10^{-6}$  См/м на кинетику отмывки этой водой катионита КУ-2 от соляной кислоты. Схема установки для получения и обработки такой воды приведена на рис. 41. Исследование проводили методом ограниченного объема с потенциометрическим контролем кинетики отмывки. Омагничивание осуществляли многократным пропуском воды через электромагнитное устройство проточного типа со скоростью 0,31 м/с при разных напряженностях магнитного поля (от 0 до 400 кА/м). Время от момента омагничивания до кинетического опыта составляло 0,5 ч. Установлено, что омагничивание такой воды значительно ускоряет отмывку:

Напряженность магнитного поля, кА/м	0	8	16	24	40
Формальная константа процесса $k \cdot 10^{-3}, \text{с}^{-1}$	1,8	1,92	2,15	2,43	2,57
Эффект магнитной обработки, %	—	6	19	35	43

Результаты этих опытов свидетельствуют также о возможности изменения магнитной обработкой свойств воды, содержащей резко уменьшенное количество примесных ионов. Полученные данные хорошо соответствуют приведенным в следующей главе результатам магнитной обработки деионизованной воды, полученным в Воронежском государственном университете.

В. Г. Зерницкий провел в промышленных условиях опыты отмывки сульфогля от серной кислоты. Степень отмывки контролировали потенциметрически с автоматической записью. Надежно установлено, что отмывка омагниченной водой протекает в 1,2—1,4 раза быстрее, чем обычной. Такие же результаты получены и при отмывке гидрогеля кремнекислоты от серной кислоты. В этом случае скорость отмывки возросла втрое [250, с. 65].

\* \*  
\*

Приведенные экспериментальные данные об изменении свойств гетерогенных систем или параметров процессов, протекающих на границах раздела фаз, при кратковременном воздействии магнитных полей не являются случайными. Они согласуются с результатами, полученными при омагничивании гомогенных (микрөгетерогенных) водных систем. Все виды изменений гетерогенных систем связаны одно с другим. Однако в некоторых исследованиях получены и отрицательные результаты. О причинах отсутствия полной воспроизводимости результатов при исследовании гетерогенных систем говорится в гл. III. Следует отметить, что почти все эффекты, описанные в данном разделе, нашли промышленное воплощение (см. гл. V).

### 3. БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Четко выявленные изменения физико-химических свойств омагниченной воды, содержащей минимальное количество примесей, и водных растворов с повышен-

ной концентрацией примесей не могут не отразиться на биологических свойствах водных систем. Такое же заключение можно сделать, основываясь на огромном экспериментальном материале. Опубликовано большое число работ (см., например [116—118]), в которых говорится о сильном влиянии слабых магнитных полей (искусственных и естественных) на живые системы. По нашему мнению, в этом случае магнитные поля воздействуют на воду живых объектов, представляющих собой своеобразные водные системы [119]. Накоплено достаточное число экспериментальных данных, позволяющих утверждать, что омагниченная вода обладает особыми биологическими свойствами.

А. Б. Коган, Т. С. Сачава, Л. И. Дорожжина, В. М. Павелко и И. Н. Гольцева установили, что магнитное поле *оказывает влияние на движение инфузорий* (*Paramecium caudatum*) в воде. При этом отмечен существенный факт: при вводе этих инфузорий в омагниченную воду их двигательная активность изменяется [116, с. 56].

В. В. Лисин и Л. Г. Молчанова поили в течение полугода омагниченной водопроводной водой подопытных животных. Отмечены увеличение лейкоцитов, понижение функциональной активности щитовидной железы, *гемодинамические сдвиги и различные дистрофические изменения* (дискомплексація печеночных балок, периваскулярные отеки вокруг центральных вен мальпигиевых тел селезенки и др.). Токсичность умеренная [13, с. 298—301].

Есть четкие сведения о том, что магнитная обработка растворов вызывает *повышение проницаемости биологических мембран*.

К. С. Тринчер экспериментально исследовал влияние магнитной обработки физиологического раствора (воды с примесью неорганической соли) на диффузию его компонентов в эритроциты. Режим обработки не был оптимизирован. В омагниченный физиологический раствор добавляли 1% свежей крови и инкубировали при комнатной температуре в течение 15—18 ч. Дальнейшее исследование проводили методом изотонического щелочного гемолиза. Эритроциты постепенно набухали и лопались. Кинетику этого процесса оценивали по изменению оптической плотности раствора. Опыты пока-

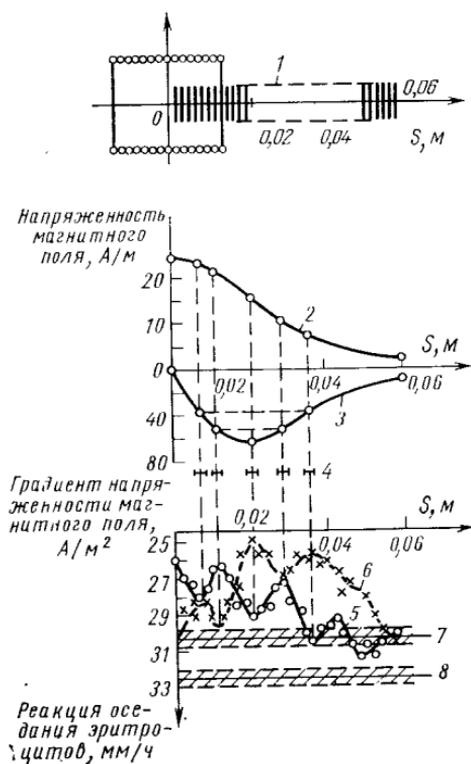


Рис. 43. Влияние магнитного поля на РОЭ крови:

1 — соленоид и капилляры с кровью; 2 — напряженность магнитного поля; 3 — градиент напряженности поля; 4 — доверительные интервалы; 5, 6 — РОЭ крови после магнитной обработки; 7, 8 — то же, без магнитной обработки (заштрихованные зоны — разброс определений;  $S$  — расстояние от центра соленоида).

зали, что в омагниченном растворе эритроциты гораздо быстрее (на 21—25%) набухают и лопаются. Если омагниченный физиологический раствор (до добавления в него крови) нагреть до кипения и охладить, то последствия влияния омагничивания пропадают (рис. 42). Это свидетельствует о влиянии магнитной обработки

на структуру раствора и на уменьшение гидратации ионов, что облегчает проникновение последних через оболочку эритроцитов. Следует отметить, что результаты, полученные К. С. Тринчером, характеризуются некоторым разбросом [120].

Эффект К. С. Тринчера был впоследствии использован Г. В. Цыплаковой в качестве биологического теста эффективности магнитной обработки воды.

М. М. Десницкая и А. Н. Мамонтов исследовали влияние магнитной обработки дистиллированной и водопроводной воды на проницаемость клеточных мембран кожи лягушки. Для этого в кожный мешочек вводили окрашивающее вещество. Об изменении проницаемости судили по скорости выхода этого вещества из мешочка в окружающую воду. Статистически достоверно найдено, что если в мешочке находится омагниченная водопроводная вода, то окрашивающее вещество выходит в окружающую воду с большей скоростью, чем в контрольных опытах [121, с. 115—117].

Эти же авторы определяли изменение биологических свойств воды после омагничивания и другими методами. Например, вводили под кожу животных омагниченную воду. В этом случае поведение их резко изменялось (по сравнению с поведением при вводе неомагниченной воды): возникало двигательное беспокойство, сменяющееся вялостью, сонливостью. Причем при введении омагниченной водопроводной воды эффект воздействия был более сильным по сравнению с эффектом, наблюдаемым при использовании омагниченной дистиллированной воды. При введении омагниченной дистиллированной воды под кожу мышей сопротивляемость последних неблагоприятным факторам повышалась. Время плавания этих мышей в воде составляло  $194 \pm 25$  мин, а время плавания мышей, которым вводили столько же неомагниченной дистиллированной воды, составляло  $116 \pm 17$  мин. Омагниченная водопроводная вода, наоборот, сокращала время плавания мышей [109, с. 115—117].

Влияние омагничивания воды на *активность ферментов* было изучено И. В. Тюньковым. Он помещал воду на 15 мин в постоянное магнитное поле, затем вводил в нее различные ферменты. Даже такая несовершенная обработка воды показала достоверное снижение активности уреазы, фосфоглюкомутазы и АТ-фазы актомпозина в свежедистиллированной омагниченной воде по сравнению с активностью при использовании свежедистиллированной неомагниченной водой [122].

К. А. Мещерская и Г. П. Бородина включали в рацион крыс омагниченную дистиллированную воду. Это привело к *снижению содержания холестерина* в печени крыс: через 20 дней оно снизилось в  $1\frac{1}{2}$  раза (по сравнению с контрольными опытами), а через 90 дней — более чем в  $2\frac{1}{2}$  раза; через 90 дней снизилось также и содержание холестерина в крови [123].

В. А. Ахутин, Н. И. Музалевская и В. И. Классен исследовали зависимость *изменения РОЭ крови* от характеристик магнитного поля, ранее отмеченную в работе [118, с. 57—58]. Эти изменения особенно заметны в достаточно реактивной крови (например, в крови больных с сердечно-сосудистой патологией). У разных людей формула крови, белковый состав плазмы, пара-

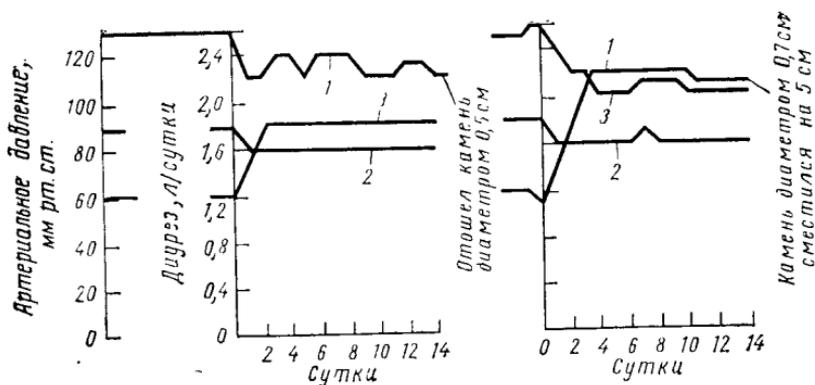


Рис. 44. Влияние омагниченной воды на артериальное давление и диурез:

1 — систолическое давление; 2 — диастолическое давление; 3 — диурез.

метры форменных элементов неповторимы. Общим компонентом является вода, поэтому со значительной долей вероятности общие закономерности, полученные на различных образцах, могут быть объяснены изменением свойств воды.

В отличие от ранее проведенных исследований биологического воздействия омагниченной воды на кровь, в описываемой работе большое внимание уделяли режиму обработки. По оси соленоида на расстоянии 2 см друг от друга располагали стандартные капилляры с кровью. Было установлено изменение напряженности поля и его градиента по оси соленоида. Максимальная напряженность поля в центре соленоида составляла всего 24 А/м, частота тока 0,5 Гц. Антикоагулянтom служил 5%-ный раствор лимоннокислого натрия. РОЭ определяли по седиментограмме. Погрешность опыта не превышала 5%. Как видно из рис. 43, необработанные образцы крови отличаются один от другого, но разброс данных для них небольшой (области 7, 8).

Результаты многих опытов показали, что после магнитной обработки крови РОЭ значительно изменяется. Это изменение по оси соленоида имеет полиэкстремальный характер, максимумы и минимумы отдельных образцов крови не совпадают. При этом не обнаруживается простой зависимости от напряженности поля и его градиента (что характерно для случая, когда основную роль играют пондеромоторные силы). Однако все кри-

вые имеют один общий признак: положение экстремумов остается постоянным (доверительные интервалы не превышают половины «шага») и не зависят от характера кривой. Экстремальные точки примерно соответствуют определенным значениям градиента напряженности поля [124].

Ряд достоверных данных получен при исследовании влияния питья омагниченной воды на *артериальное давление, диурез и растворение почечных камней* (обычно эти результаты проявлялись одновременно).

Первые сведения о влиянии омагниченной воды на растворимость камней мочевого пузыря опубликовали Н. А. Глебов, И. И. Брехман и И. В. Дардымов [125, с. 390]. И. И. Моргунов [126] и затем Ф. Немец (F. Nemes) [127] также отметили положительные результаты употребления омагниченной воды при лечении мочекаменной болезни. Больным через различное время давали пить воду, подвергнутую весьма примитивной магнитной обработке. Тем не менее, у большинства больных наблюдались не только субъективные улучшения, но и нормализация состава крови и мочи.

Более детальные исследования проведены Э. М. Шимкусом, Ж. П. Аксеновым, Н. И. Каленковичем и В. Я. Живом [128]. В этой работе также ничего не говорится о режиме магнитной обработки воды и его оптимизации, описаны лишь результаты исследований. Вначале неомагниченную воду давали пить два раза в день здоровым людям (по 0,5 л), при этом осуществляли разносторонний контроль функции почек и артериального давления. Никаких ощутимых изменений в этом случае не отмечено. Затем этим же людям давали в таком же количестве омагниченную воду. При этом было зафиксировано снижение артериального давления (систолического на 0,7—4 кПа, или 5—30 мм рт. ст., и диастолического на 0,7—3 кПа, или 5—20 мм рт. ст.), увеличение функции почек и диуреза (на 35—60%), а также снижение на 0,5—2% канальцевой реабсорбции воды. При лечении омагниченной водой 30 больных с одиночными камнями в почках (0,6×1,7 см) у 19 больных камни отошли, у семи больных сместились по мочеточнику на 3—20 см. Обычно камни отходили на протяжении первых двух недель (рис. 44). Аналогичные результаты опубликованы В. А. Пилипенко [129].

В исследованиях урологов получены разноречивые сведения о растворении камней почек в организме (*in vivo*). Это побудило исследовать растворимость мочевого камня человека в омагниченной воде *in vitro* (вне организма). В. И. Классен, А. Н. Гребнев, Н. И. Каленкевич и В. И. Варикоша обрабатывали дистиллированную воду (удельная электропроводность  $300 \text{ мкСм} \cdot \text{м}^{-1}$ ) при напряженностях поля, ранее установленных как усиливающих растворимость алкилсульфата натрия ( $28 \text{ кА/м}$ ), так и уменьшающих ее ( $52 \text{ кА/м}$ ). Оказалось, что в первом случае происходит существенное (на 34—43%) ускорение растворения оксалатов и фосфатов кальция, во втором — столь же значимое замедление. Обработка водопроводной воды, содержащей значительное количество ионов кальция, не отразилась на растворимости почечных камней [24, с. 154—158]. Следовательно, для растворения почечных камней нужно употреблять омагниченную воду, ненасыщенную кальцием; причем обработка должна проводиться в строго подобранном режиме.

Обширный материал накоплен в области исследований, относящихся к изучению влияния магнитной обработки на *биологические и фармакологические свойства* водных растворов органических и неорганических веществ.

М. М. Десницкая и Л. Н. Чеснокова установили, что при магнитной обработке раствора Рингера (в 1 л воды  $6,5 \text{ г NaCl}$  и по  $0,2 \text{ г CaCl}_2$ ,  $\text{KCl}$  и  $\text{NaHSO}_4$ ) влияние этих препаратов на работу изолированного сердца изменяется. Обработку вели в скрещенных магнитном ( $509,4 \text{ кА/м}$ ) и электрическом полях. Плотность тока в растворе не превышала  $2\text{—}3 \text{ мА/см}^2$ . Скорость протекания растворов в зазоре составляла  $0,4 \text{ м/с}$ . Обычный раствор Рингера не влияет на работу сердца, а растворы хлороформа и строфантина ее подавляют. Омагниченные же эти растворы действовали совершенно иначе: они активировали работу сердца (рис. 45) [13, с. 305—308]. Изменение свойств раствора Рингера, вызванное омагничиванием, является временным и исчезает через несколько часов.

М. М. Десницкая и Л. Н. Мамонтов установили значительное изменение влияния омагниченных нейтронных лекарственных препаратов (стрихнина, кофеина и др.)

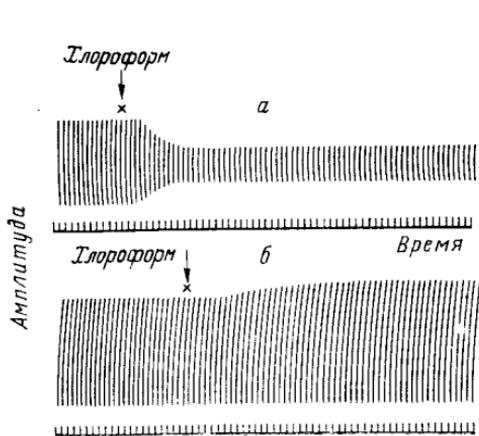


Рис. 45. Влияние омагничивания водного раствора хлороформа концентрацией 1 : 500 000 на пульсацию сердца:  
*a* — неомагниченный раствор; *b* — омагниченный.

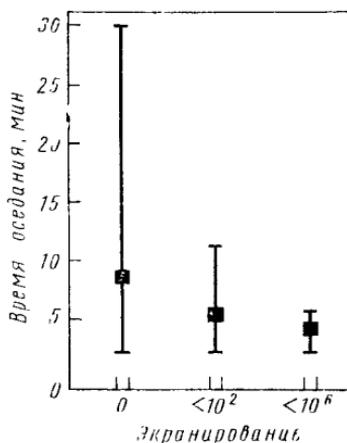


Рис. 46. Влияние степени экранирования водной системы от внешних наводок на разброс данных о скорости оседания в воде золя оксихлорида висмута.

на центральную нервную систему. При этом отмечено два важных обстоятельства: летом эффект был меньше, чем зимой, и действие растворов коррелирует с изменением проницаемости тканевых мембран (кожи лапок лягушки) [130, с. 106—109].

А. Н. Мамонтов отметил более сильное влияние омагниченных водных растворов сердечных гликозидов (разведение  $1,7 \cdot 10^{-7}$ ) на деятельность сердца [130, с. 109—111]. Р. Г. Дианова, А. Н. Мамонтов и В. В. Смирнова установили значительное влияние омагничивания водных растворов строфантина, дигитоксина и папаверина на сужение и расширение сосудов [130, с. 112—114]. Наконец, М. М. Десницкая, Г. А. Базанов и А. Н. Мамонтов установили, что омагничивание водных растворов гликозидов значительно влияет на содержание гликогена в миокарде, печени и мышце бедра кроликов. Обработку растворов вели полем напряженностью 338 кА/м. Скорость раствора составляла 0,2 м/с. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при использовании омагниченного строфантина содержание гликогена в печени возрастает с 1970 до 4070 мг%, а в поперечно-по-

лосатых мышцах — с 560 до 830 мг%. При омагничивании раствора сердечного гликозидина количество гликогена в печени возрастает в 1,5 раза [121, с. 100—103].

Значительный интерес представляют сведения М. М. Десницкой и А. В. Каргаполова о влиянии омагничивания водных растворов лекарственных препаратов и биологически активных веществ на их хроматографическую подвижность, оцениваемую методом тонкослойной хроматографии на силикагеле. Ими обнаружено изменение хроматографической подвижности всех десяти исследованных препаратов (барбамила, стрихнина и др.). Результаты опытов свидетельствуют об изменении полярности исследованных веществ. Этот эффект сохраняется 4—5 ч. Изменяется и химическая активность препаратов: ускоряется проявление омагниченных препаратов в парах с иодом. Этот эффект сохраняется в течение 2—3 суток [131, с. 20—21].

Л. В. Комаров установил, что омагничивание водных растворов сахарозы привело к значительному увеличению продолжительности жизни комнатных мух, причем это заметно при относительно невысоких напряженностях магнитного поля (30—52 кА/м) и не наблюдается при более высоких напряженностях поля (порядка 79,6 кА/м) [114, с. 100]. И. М. Зайцева, В. М. Соболева и П. Е. Гальченко также отметили значительное изменение лечебных свойств омагниченного раствора адреналина [131, с. 107].

М. М. Десницкая отмечает влияние омагничивания различных препаратов на лечение аллергии. Иммунологические реакции при сенсibilизации кроликов омагниченной сывороткой протекают более интенсивно, чем в контрольных опытах. Омагниченный гистамин стимулировал антителообразование, обмен белка; реакции на разрешающие дозы антигена протекали лучше, чем в контрольных опытах.

В некоторых работах отмечены *бактерицидные свойства* омагниченной воды. Так, А. И. Шахов и С. С. Душкин установили, что микробное число и коли-индекс воды Северного Донца и Харьковского водопровода, подвергнутой магнитной обработке, уменьшаются на 81—97% [132]. При этом существенное значение имеют параметры обработки — напряженность поля и скорость потока. Однако Г. С. Агафоновой, В. И. Классеном и

Ю. А. Мартяновым показано, что магнитная обработка приводит к значительному (в 1,5—1,7 раза) ускорению роста бактерий («*Th. ferrooxidans*») [133], а Д. Ф. Файзуллаев, С. Джурабеков, А. А. Шакиров, С. Абидов и Х. Бердыкулов отметили увеличение на 15—30% скорости роста хлореллы [13, с. 309—310].

Имеется большое число данных, свидетельствующих о влиянии *магнитной обработки поливной воды и семян на рост растений\**. Результаты многочисленных исследований в полевых условиях показали, что при замачивании семян сахарной свеклы в воде, подвергнутой магнитной обработке при напряженности 796 А/м, урожайность этой культуры повышается на 8% [13, с. 310].

Влияние омагничивания поливной воды на рост растений впервые отмечено И. В. Дардымовым, И. И. Брехманом и А. В. Крыловым [125, с. 390]. Использование для полива омагниченной дистиллированной воды позволило ускорить рост растений на 20—40%. Эти данные были подтверждены В. В. Лисиным и Л. Г. Молчановой [13, с. 298]. Опыты, проведенные Н. П. Яковлевым, показали, что при поливе омагниченной водой урожай многих зерновых и огородных культур повышается на 10—40% [134, 135]. Это можно объяснить тем, что при применении омагниченной воды лучше усваиваются питательные вещества из почвы (в том числе искусственные удобрения). Этот вопрос подробно освещен в п. 9 гл. V.

\* \*  
\*

Результаты различных экспериментов, приведенные выше, свидетельствуют о том, что *омагниченные водные растворы приобретают новые биологические свойства*. Причем такие результаты иногда обнаруживаются даже при магнитной обработке, проведенной в случайных, недостаточно подобранных режимах. Установлена аналогия изменения биологических и физико-химических свойств гомогенных и гетерогенных водных систем, подвергнутых магнитной обработке. Обнаруженные эффекты наиболее заметны при воздействии слабых (оптимальных) полей и оптимальной частоте этих полей.

---

\* Этот вопрос подробно рассмотрен в главе V.

С увеличением напряженности поля усиление эффекта не происходит, при этом зависимость изменения свойств от напряженности поля носит экстремальный или полиэкстремальный характер. С течением времени изменения, внесенные магнитным полем, пропадают.

Такая корреляция между изменениями физико-химических и биологических свойств водных систем повышает надежность экспериментальных данных и в дальнейшем может сыграть важную роль при установлении механизма происходящих явлений.

Наличие специфических биологических свойств у самых различных водных растворов требует постановки специальных исследований, которые позволят выяснить механизм такого действия. Пока же приходится ограничиться следующими предположениями:

1. изменение структуры воды может самым различным образом активно влиять на находящиеся в ней биологические образования. Уже сравнительно давно М. В. Волькенштейн привел ряд соображений о том, что молекулярные структуры клетки и, в частности, белков зависят от водного окружения и им определяются. Он подчеркнул также, сколь сильно может влиять структура воды на пространственную структуру белка, в свою очередь определяющую его биологическую функцию, в частности — ферментативные свойства. «Природа генов непосредственно связана со специфическими свойствами жидкой воды» [136]. Ряд соображений о возможности конформационных изменений биологически активных белковых молекул при изменении структуры воды высказал В. П. Кошевой. Выше приведено много данных, неопровержимо свидетельствующих о том, что после магнитной обработки реальной воды изменяются многие ее структурно-чувствительные свойства. Может быть это — одна из причин наличия у омагниченных водных систем особых биологических свойств?

2. опыты, проведенные с различными мембранами, искусственными и биологическими, показали определенное влияние омагничивания реальной воды на *проницаемость мембран*. Об этом свидетельствуют, в частности, опыты К. С. Тринчера (см. рис. 42), опыты М. М. Десницкой и многие другие данные, приведенные в разных местах этой книги. Между тем, проницаемость мембран — основа обмена веществ в живых системах. Не тут

ли кроется одна из причин биологической активности омагниченной воды?

3. имеются достоверные, хотя и начальные данные о том, что после магнитной обработки каким-то образом изменяется композиция ионных систем, находящихся в воде и даже гидратация отдельных ионов. Ниже, в гл. III, п. 3 приводятся гипотезы об участии ионов в образовании гексааквакомплексов и других ассоциатов.

Есть прямые экспериментальные результаты, свидетельствующие об инактивации ионов  $\text{Ca}^{2+}$  после магнитной обработки, приводящей к четким биологическим эффектам. А. Г. Карташев, В. А. Калюжин, Р. А. Плющ и А. В. Вохминцев доказали это, по-нашему мнению, весьма убедительно [137]. Они подвергали магнитной обработке растворы хлоридов кальция, магния и натрия и, затем, определяли различными способами их биологическую активность. Особенностью их работы, редкой среди аналогичных магнитобиологических исследований, является тщательность подбора режима магнитной обработки. Они варьировали такие факторы, как напряженность магнитного поля, его частоту и градиент, направление потока растворов по отношению к полю, кратность обработки. Конечные результаты опытов показали, что наибольшее изменение биологической активности свойственно только растворам  $\text{CaCl}_2$ ; другие хлориды в гораздо меньшей степени изменяют свои биологические свойства. Так, обработка растворов хлористого кальция приводит к уменьшению потенциала покоя клетки элодии (аналогично уменьшению биологически активной концентрации  $\text{Ca}^{2+}$ ); такая обработка тормозит скорость сбраживания глюкозы дрожжами (это также пропорционально уменьшению биологически активной концентрации  $\text{Ca}^{2+}$ ); омагничивание раствора  $\text{CaCl}_2$  приводит к увеличению минимальных частот стимуляции (у нервно-мышечного препарата лягушки, один конец которого опускали в омагниченный раствор, а другой — в неомагниченный, регистрировалась минимальная частота на ступени пессима Введенского). Это исследование, по мнению авторов, свидетельствует об обоснованности нашего мнения о значении действия магнитных полей на воду биологических систем и подтверждают гипотезу Л. Д. Кисловского о роли гексааквакомплексов кальция.

Сходные данные получены Е. В. Евдокимовым, А. Г. Карташевым и Г. Ф. Плехановым. Они подвергали магнитной обработке  $10^{-4}$  Н растворы хлористого кальция (напряженность магнитного поля 3, 6, 10 А/м, скорость течения 1,1—1,5 м/с) и определяли действие обычного или омагниченного растворов на величину потенциала покоя клетки элодеи. Если неомагниченный раствор хлористого кальция, омывая клетку, повышал потенциал покоя на  $4,58 \pm 1,1$  мВ, то в случае омагниченного раствора это повышение составляло  $0,13 \pm 1,3$  мВ. Авторы полагают, что действие омагничивания раствора хлористого кальция аналогично уменьшению концентрации биологических активных ионов кальция. Следовательно, влияние магнитной обработки на ионы растворов может сказываться на их биологическом действии?

4. определенный биологический эффект может быть связан также с изменением условий транспорта кислорода к тканям организма. В разных местах книги показаны влияние магнитной обработки воды на концентрацию в ней кислорода и разнообразное влияние растворенного кислорода на эффекты магнитной обработки водных систем. По данным Л. Полинга, А. Сент-Дьерди и других, молекула кислорода, обладая парамагнитными свойствами, ведет себя в водном растворе как свободный радикал, и химическая активность кислорода зависит от степени возбуждения. Как указывает П. В. Белошицкий [138], изменение аэробного обмена и транспорта «особого» кислорода могут быть связаны с изменением скорости диффузии, растворимости в воде и (добавим от себя) — проницаемости биологических мембран.

Таким образом, представляется очень важным возможное действие магнитных полей на жидкокристаллические водные компоненты биологических систем. Эта концепция, отмеченная в частности У. Ш. Ахмеровым [139], связана с большой чувствительностью жидких кристаллов к магнитным воздействиям.

#### 4. ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬ ОПЫТОВ

Важной особенностью опытов по омагничиванию водных систем, проведенных в лабораторных условиях, является не стопроцентное совпадение полученных результа-

тов, что мы подчеркивали неоднократно [13, стр. 11]. Существует много явлений, для которых почти невозможно достоверно предсказать единичное событие, поэтому возникает необходимость применения вероятностных законов. Но всегда вариабельность результатов крайне нежелательна. Ее можно объяснить следующим образом:

а) изменение многих свойств различных водных систем количественно незначительно, их оценка требует применения особо точной аппаратуры и полной стабилизации всех условий проведения опытов;

б) концентрации в воде отдельных примесей (в ионной и молекулярной форме, в частности — газов) и их количественные соотношения могут быть весьма различными и в ряде случаев трудно идентифицируемыми. Ведущая же роль примесей при магнитной обработке воды представляется несомненной;

в) вода и водные растворы, как это выявилось в последние годы, весьма чувствительны к различным внешним воздействиям. В гл. I приведен ряд примеров влияния возраста воды и механических воздействий на ее структурно-чувствительные свойства. Есть много данных о значительном влиянии внешних наводок. Следует отметить, что степень соответствия перемен солнечной активности и изменений многих процессов на Земле в среднем равна 95,8%. Впервые для воды это было четко отмечено Дж. Пиккарди (G. Piccardi) [139]. В последние годы Г. Ф. Плеханов и А. М. Опалинская [24, с. 82; 140, с. 21—23] провели около тысячи опытов по методу Пиккарди (измеряли скорость оседания золя оксихлорида висмута, зависящую от степени коагуляции частиц). Результаты их опытов (рис. 46) подтвердили высокую чувствительность водной системы к очень слабым внешним электромагнитным воздействиям. Такое же влияние оказывают искусственные наводки, хаотически и бесконтрольно изменяющиеся, например при включении и выключении различных нагрузок в осветительную сеть, искрение разных выключателей. Опыты и расчеты показывают, что даже при включении электрической лампы мощностью 100 Вт на расстоянии 10 м от сосуда с водой изменяется степень коагуляции золя оксихлорида висмута, хотя уровень поля изменяется всего на десятки гамм [24, с. 82]; не исключается и действие

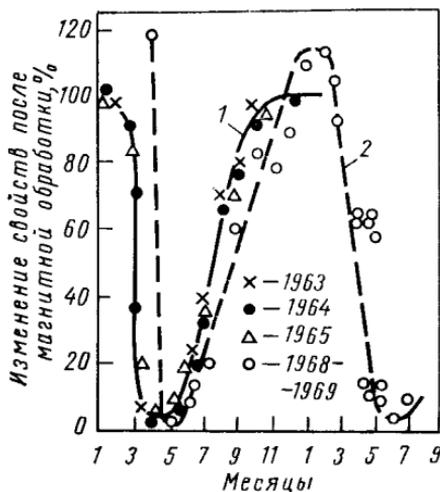


Рис. 47. Изменение свойств водных растворов после омагничивания в зависимости от времени года:

1 — изменение магнитной восприимчивости раствора сульфата никеля; 2 — изменение плотности раствора серной кислоты.

на воду света, имеющего электромагнитную природу.

Эти результаты были подтверждены дальнейшими исследованиями тех же авторов, связанными с солнечной активностью. С помощью метода Пиккарди установлена достоверная корреляция между данными факторами: в магнитоактивные дни наблюдается замедление скорости оседания оксихлорида висмута в воде и уменьшение флуктуаций реакции. Здесь имеет место комплексное воздействие различных факторов. Эффект четко проявляется во время магнитных бурь и менее четко (как тенденция) в дни вспышек на Солнце.

А. М. Опалинская и Л. П. Агулова установили также, что слабейшие внешние наводки действуют особенно заметно при сверхнизких частотах (0,01—0,1 Гц), которые, возможно, являются резонансными для этой реакции. Искусственные магнитные поля указанных характеристик близки к параметрам естественного возмущения электромагнитного поля Земли. Этим подчеркивается влияние на эффект магнитной обработки естественных внешних наводок [140].

Д. В. Гавашели и В. П. Пруидзе экранировали геомагнитное поле катушками Гельмгольца и изучали, как это экранирование влияет на кинетику коррозии. Оказалось, что оно стимулирует увеличение скорости коррозии различных металлов, сказываясь, в основном, на анодной поляризации.

Говоря о роли внешних наводок при омагничивании водных систем, нельзя обойти молчанием так называемую сезонную зависимость результатов (хотя этот вопрос рассматривается учеными — геоцентристами неизменно скептически).

Говоря о роли внешних наводок при омагничивании водных систем, нельзя обойти молчанием так называемую сезонную зависимость результатов (хотя этот вопрос рассматривается учеными — геоцентристами неизменно скептически).

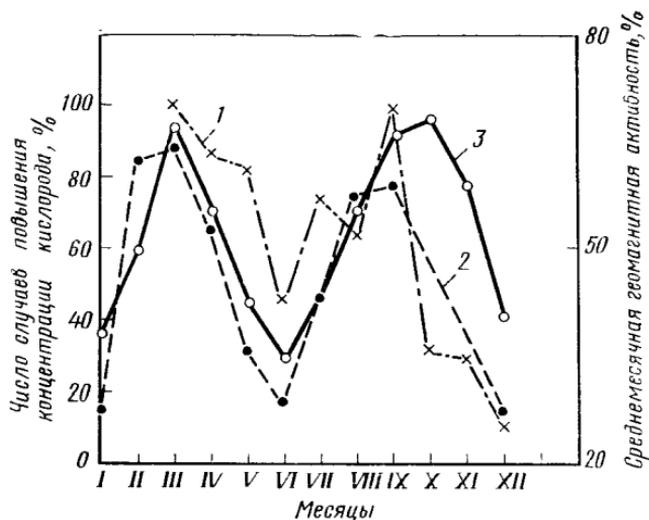


Рис. 48. Корреляция между изменением числа случаев повышения концентрации кислорода в воде после ее омагничивания (1, 2) и геомагнитной активностью (3).

Еще Дж. Пикарди отметил усиление гелиомагнитных воздействий на водные системы в мае—июне [139]. Ф. И. Кукоз, М. Ф. Скалозубов и Г. К. Чернов отметили, что омагничивание воды, применяемой для затворения цементных растворов, дает наименьший дифференциальный эффект в мае—июле [49, с. 29—30]. Прирост прочности образцов после магнитной обработки (достоверный) по сравнению с контрольным образцом в 1965 г. составлял: в январе 50—60%, мае 2—5%, сентябре 20—25%, октябре 40%. Систематически исследуя в течение трех лет изменение магнитной восприимчивости растворов сульфата никеля, эти авторы получили кривую с четким минимумом в апреле—мае (рис. 47). Хотя эти данные и были весьма надежными, их следовало подтвердить изменением другого эффекта. Такое подтверждение получено в двух работах П. В. Денисова и С. Л. Реприцовой. Они также замечали снижение некоторых технологических эффектов омагничивания в мае—июне. Лабораторные опыты проводили в 1968—1969 гг. с раствором серной кислоты, для которой было установлено изменение плотности после магнитной обработки. Результаты их опытов также приведены на рис. 47. Характер кривых аналогичен [141].

Экспериментальное подтверждение указанных результатов [49, с. 29—30] получено также С. А. Стецкой, Г. Н. Хажинской, Р. Ф. Усмановым и нами систематическим круглогодичным (1969 г. — год активного Солнца) определением действия магнитной обработки на изменение в ней концентрации кислорода. Дистиллированную воду (удельной электропроводностью  $1,9 \cdot 10^{-5}$  Ом<sup>-1</sup>·см<sup>-1</sup>) пропускали через 9 магнитных полей напряженностью 200 кА/м каждое.

Результаты опытов, приведенные на рис. 48, показывают периодическое изменение приращения концентрации кислорода, находящееся в четкой корреляции с годичным ходом кривой геомагнитной активности. Такая же корреляция существует между геомагнитной активностью и абсолютной величиной повышения концентрации кислорода в омагниченной воде.

Наконец, Л. Д. Меликадзе, Э. Г. Леквешвили и М. Н. Тевдорашвили, проанализировав причины вариабельности направления фотохимической реакции (фотоконденсации алкилфенантроновых углеводов с маленновым ангидридом), пришли к заключению, что образование отдельных продуктов реакции «...происходит не в зависимости от условий проведения реакции, а, согласно нашим систематическим 3,5-летним наблюдениям (более 450 опытов), имеет явно выраженный сезонный характер». Зимой образуется один продукт реакции, приблизительно в середине марта выход его постепенно исчезает, появляются другие продукты. К осени наблюдается обратная картина. Авторы пришли к заключению, что выход продуктов реакции «... зависит от факторов, обусловленных взаимодействием Солнце — Земля».

Причины таких (не всегда отмечаемых) проявлений сезонности точно не установлены. Дж. Пиккарди предполагает, что они связаны с изменениями в космосе в этот период года. Во всяком случае их нельзя связать с поступлением талых вод, поскольку опыты проводили с растворами различных веществ в бидистилляте;

г) характеристика магнитного поля по его средней напряженности (см. гл. II и IV) совершенно недостаточна для случая магнитной обработки. Более детальная характеристика магнитного поля и ее вариации обычно не оценивались, что делает несопоставимыми условия опытов разных авторов.

Все перечисленные обстоятельства сильно осложняют технику лабораторных экспериментов. Она в данном случае должна быть не только точной, но и весьма специфичной (особенно важна защита от внешних наводок, этого еще никто не делал). Но современной науке свойственно преодоление и больших экспериментальных трудностей.

Следует подчеркнуть, что в промышленных условиях результаты магнитной обработки обычно более стабильны и часто лучше лабораторных. Это, быть может, связано и с иной гидродинамикой потоков в промышленных аппаратах, с обработкой больших объемов воды и со стабилизацией отдельных частностей. Кроме того, значительным масштабным фактором может быть увеличение индуцированной электродвижущей силы в аппаратах больших размеров (этот вопрос подлежит специальному исследованию).

### *Глава III*

## **СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ ОМАГНИЧИВАНИЯ ВОДНЫХ СИСТЕМ**

### **1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Известно множество процессов, теоретическое обоснование которых было сделано только через несколько десятилетий после того, как они нашли широкое и успешное практическое применение. Иногда накопленных простых эмпирических зависимостей оказывается достаточно для устойчивого получения желаемых результатов. Во многих же случаях отсутствие теории сдерживает практическое применение новых процессов. К такого рода проблемам относится и изменение свойств водных систем после кратковременного воздействия на них относительно слабых электромагнитных полей. Мы многократно отмечали, что часто в лабораторных условиях достигаемые эффекты отличаются неустойчивостью,

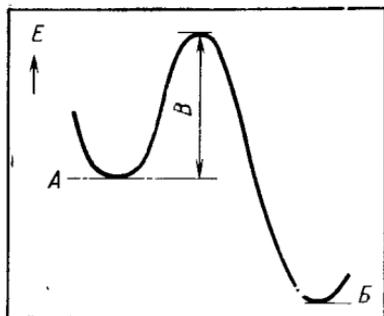


Рис. 49. Метастабильные состояния системы:

$A$  — метастабильный уровень;  $B$  — равновесный уровень;  $B$  — энергия активации, необходимая для выхода системы из метастабильного состояния.

остаются неизвестными приемы стабилизации и оптимизации процесса, методы расчета аппаратов для магнитной обработки водных систем.

Трудности теоретической трактовки магнитной обработки водных систем очень велики, поскольку приходится сталкиваться со многими нерешенными проблемами, относящимися к общей теории жидкого состояния. К тому же, как выяснилось совсем недавно, приходится иметь дело со сложной, метастабильной системой. Вместе с тем, накопленных экспериментальных данных пока еще недостаточно для построения строгой теории.

Наличие несомненных изменений свойств ряда водных систем с макроскопическим проявлением энергетически слабых воздействий принципиально возможно при метастабильном исходном состоянии этих систем.

Как известно, метастабильные системы, энергетические уровни которых приведены на рис. 49, характеризуются возможностью перехода на более низкий (а в предельном случае равновесный) уровень после преодоления некоторого активационного барьера. *Есть много оснований, позволяющих отнести реальную воду к метастабильным системам.*

Л. Д. Кисловский обосновывает возможность существования в водных растворах неравновесных метастабильных структур, связанных с изменением электронной конфигурации молекул. Время существования этого изменения очень мало (порядка  $10^{-6}$ — $10^{-8}$  с). Но оно может быть увеличено при изоляции в полостях метастабильной структуры некоторой другой структуры. Так, это время резко возрастает в присутствии (обязательном для реальной воды) различных ионов, способствующих образованию аквакомплексов. Как показано в следующей главе, особую роль Л. Д. Кисловский отводит гексааквакомплексу кальция [139].

Другим источником метастабильности реальной воды

является неизбежное изменение во времени концентрации растворенных газов. Это происходит при малейших изменениях температуры и давления (в частности, от турбулизации потока текущей воды), определяющих растворимость газов в воде. Как показано в первой главе, от концентрации и природы растворенных газов очень сильно зависит структура воды, которая и по этой причине должна быть метастабильной.

Третьим источником метастабильности водных систем являются наводки разного рода, в том числе связанные с солнечной активностью, всегда изменяющейся во времени. Реальность и значимость таких воздействий обоснована в п. 4 гл. II.

Четвертым источником метастабильности ряда водных систем может служить пересыщенность либо недонасыщенность раствора разными солями; такое пересыщение часто наблюдается в природных водах.

И, наконец, пятым источником метастабильности водных систем является их микрогетерогенность, а следовательно существование развитых поверхностей раздела фаз. Сольватные оболочки воды, как показано Б. В. Дерягиным, имеют на несколько порядков меньшее время релаксации. Все изменения состояния ультрамикроскопических твердых частиц и пузырьков газов (их слияние, рост или растворение) должны придавать воде метастабильность.

Теория электромагнитной обработки водных систем находится на стадии выдвижения и обоснования гипотез, которая, каверное, является самой трудной и ответственной. Это обусловлено тем, что проблема магнитной обработки воды стала привлекать позитивное внимание представителей фундаментальных наук совсем недавно. Очень много времени было потеряно на убеждение представителей фундаментальных наук в том, что «здесь что-то есть». Тривиальные расчеты, показывающие ничтожное энергетическое влияние слабых магнитных полей на воду, поставили под сомнение все рассматриваемое научно-техническое направление. От практических эффектов, даже подтвержденных многолетним промышленным опытом, просто отмахивались. Между тем, имеется много примеров, когда «абсурдные» результаты после серьезного позитивного изучения неожиданно получали строгое научное обоснование.

Приведем лишь один такой пример, имеющий отношение к магнитной обработке водных систем. Обычно считается, что магнитное поле может повлиять на химическую реакцию только при внесении извне энергии, количественно соизмеримой с энергией теплового движения или превосходящей ее. Но энергия магнитного взаимодействия в растворах соизмерима с энергией теплового движения только при огромных напряженностях магнитного поля (около  $8 \cdot 10^8$  А/м). Магнитное поле несколько меньшей напряженности вызывает изменение энергии свободных радикалов такой же степени, что и изменение температуры на  $1^\circ\text{C}$ ; еще слабее влияют магнитные поля на обычные процессы.

В краткой химической энциклопедии еще в 1963 г. утверждалось, что «...вещества непрерывно подвергаются столь сильным случайным флуктуациям вследствие хаотического теплового движения, что изменение энергии, вызываемое обычными (до  $10^4$  Э) магнитными полями, оказываются незаметными».

Как отмечает Е. Л. Франкевич, «однако с тех пор ситуация коренным образом изменилась. В настоящее время имеются убедительные факты, свидетельствующие о влиянии достаточно слабых магнитных полей на кинетику химических реакций». Все дело оказывается в том, что противоположно направленные спины (и, следовательно, магнитные моменты) не компенсируют друг друга (так называемое, триплетное состояние). «Несовместимость спинов препятствует объединению триплетных пар радикалов, и в системе возникает избыток этих пар. У находящихся в жидкости триплетных радикальных пар за время их короткой жизни ( $10^{-6}$ — $10^{-8}$  с) под действием внешнего магнитного поля происходит изменение относительной ориентации спинов, что обуславливает ускорение химической реакции» [142, 143].

Уже установлен ряд реакций, ускоряемых действием слабого внешнего поля: фотохимическая реакция в молекулярном кристалле антрацена, содержащем примесные молекулы, реакция взаимодействия бутиллития с бензилхлоридом в инертном растворителе и др. Особенно следует отметить реакции взаимодействия триплетных возбужденных молекул с молекулярным кислородом.

Этими работами впервые показана возможность изменения кинетики процессов, происходящих в воде, при сообщении системе энергии, количество которой меньше энергии теплового движения. С этих позиций полезно рассмотреть и процессы, происходящие при омагничивании водных систем. Но следует учесть всю совокупность факторов, а не только взаимодействие молекул в процессе химических реакций. Ведь взаимодействие магнитных полей с водными системами — процесс сложный и многогранный, связанный с изменением структуры воды, ее гидратационной способностью и др. Как отмечает В. И. Яшкичев, рассмотрение изменений водных систем как совокупности подсистем принципиально отличается от взгляда на воду в макровременном масштабе [147].

В квантовой физике известен механизм, обосновывающий возможность конечной вероятности «просачивания» частиц (электронов) за пределы потенциального барьера в том случае, когда энергия электрона меньше высоты потенциального барьера (так называемый, туннельный эффект). В классической физике локализация частиц за пределами барьера невозможна, так как это противоречит закону сохранения энергии. В квантовой механике это имеет место и не противоречит указанному закону.

Туннельный эффект проявляется особенно заметно, если на связанный электрон (в атоме, молекуле, кристалле) действует внешнее поле, стремящееся «вытянуть» электрон из системы.

Симптоматично, что пока магнитная обработка водных систем сводилась к борьбе с накипеобразованием, а практики не подчеркивали изменение при этом физико-химических свойств водных систем, этот процесс не привлекал внимания представителей фундаментальных наук. Но стоило в СССР практикам «замахнуться на большее», как незамедлительно последовала ответная реакция, вначале четко негативная.

Общим фоном отрицательного отношения являлось отсутствие учета всей совокупности сведений и всех условий, в которых осуществляется магнитная обработка водных систем.

Соображения негативного характера делаются с принятием следующих допущений: а) вода не содержит примесей и находится в состоянии термодинамического равновесия с окружающей средой; б) реальной воде не свойственна заметная «память» и в) вода в магнитном поле находится в неподвижном состоянии.

Нетрудно заметить, что в реальных условиях магнитной обработки водных систем все эти допущения оказываются неверными. Реальная вода всегда содержит примеси различных веществ, в том числе газов, являясь микрогетерогенной системой. Она представляет собой открытую систему, обменивающуюся со средой не только энергией, но и веществом, и не может рассматриваться как равновесная. Ей свойственны замедленные структурные переходы.

Обязательное условие перемещения водной системы и магнитного потока относительно друг друга привлекает большое внимание к возникающим при этом индуцированным электрическим токам. Из уравнений Максвелла вытекает, что магнитное поле возникает как при перемещении электрических зарядов, так и при изменении электрического поля во времени. Любое изменение во

времени магнитного поля вызывает возникновение электрического поля. И при подсчете затрат энергии на магнитную обработку нельзя не учитывать энергию движения. Таким образом, *отсутствие учета движения водной системы в магнитном потоке принципиально искажает исходные условия теоретического анализа электромагнитной обработки водных систем.*

Определенные сомнения в возможности значимого изменения свойств водных систем после электромагнитных воздействий возникают в результате примитивного расчета работы, производимой магнитным полем. Работа магнитного поля над единицей объема чистой воды  $A_M$  определяется уравнением

$$A_M = \mu_0 \chi H^2$$

где  $\mu_0$  — абсолютная магнитная проницаемость вакуума;  $\chi$  — магнитная восприимчивость воды;  $H$  — напряженность магнитного поля.

Расчет, проведенный по этой формуле, показывает, что магнитное поле напряженностью 80 кА/м может произвести над одним молеи воды работу, измеряемую величиной 0,105 мкДж, что соответствует ничтожному изменению температуры на ( $10^{-8}$  °С). К тому же часто эта работа сопоставляется с энергией водородной связи ( $\approx 25$  кДж/моль), которую по априорным утверждениям при магнитной обработке необходимо разорвать. И оказывается, что получаемая энергия на 10 порядков меньше требуемой. Все эти расчеты, как мы отметили выше, имеют общим недостатком то, что ими не учитываются реальные условия — присутствие в воде примесей, перемещение воды и поля и то, что их отправной точкой является необходимость разрыва всех водородных связей.

Между тем, как отмечает В. И. Миненко [13, с. 17—18], воздействие магнитного поля на жидкость может вызывать меньшие изменения, чем действие электрических сил. Так, силы Лоренца, возникающие при течении воды и действующие перпендикулярно направлению потока, за время пребывания воды в поле (0,1 с) при градиенте электрического поля порядка десятков милливольт на 1 см способны произвести над одним грамм-ионом работу, измеряемую несколькими сотнями джоулей. Возможно, энергия перекачивания жидкости является некоторым добавочным источником изменения изобарно-изотермического потенциала системы при ее магнит-

ной обработке. Следует также учесть возможное взаимодействие с магнитным полем растворенного в воде парамагнитного кислорода.

Большая роль электрических сил, индуцируемых в водных системах, проходящих в магнитном поле, теоретически обосновывается и М. И. Давидзоном. На основании анализа системы уравнений Навье — Стокса, Максвелла и Лоренца он пришел к выводу о том, что при соответствующих градиентах напряженности магнитного поля возникает значительное электрическое поле. Если оно однородно, то возможно изменение ориентации диполей и их образований, а также переход системы в метастабильное состояние.

Значение индуцируемых электрических сил косвенно подтверждается тем, что совместное действие электрического и магнитного полей вызывает большие изменения, чем действие каждого из этих полей в отдельности. Это доказано экспериментально, в частности О. Т. Крыловым, Е. И. Фунберг и Г. В. Крыловым. Можно даже предположить, что более заметные эффекты магнитной обработки в крупных аппаратах являются следствием больших величин индуцируемых электрических сил при протекании больших объемов водных систем.

Между тем, «подпитка» электрическим током водной системы в межполюсном пространстве может послужить действенным способом увеличения достигаемых изменений этих систем после магнитной обработки.

Все же при электромагнитной обработке водной системе действительно сообщается очень мало энергии. Поэтому ее энергетическое состояние до и после магнитной обработки не может существенно возрастать.

Остается предположить, что влияние электромагнитного поля связано с такими превращениями системы, при которых ее энергия изменяется незначительно. Другими словами, мы имеем дело с метастабильной системой (см. рис. 49), поэтому главное внимание должно уделяться энергетическому барьеру, для преодоления которого необходимо системе сообщить некоторую энергию, равную энергии активации. Известно, что энергию активации можно существенно изменить ничтожным воздействием на систему (примером является катализ). Следовательно, необходимо теоретически подтвердить принципиальную возможность того, что ничтожным вре-

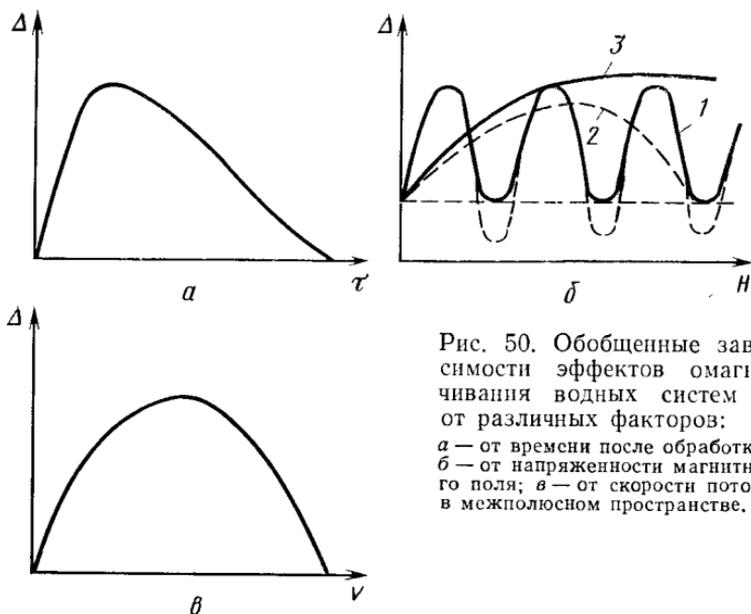


Рис. 50. Обобщенные зависимости эффектов омагничивания водных систем  $\Delta$  от различных факторов:  
 а — от времени после обработки;  
 б — от напряженности магнитного поля; в — от скорости потока в межполюсном пространстве.

менным воздействием на водную систему электромагнитного поля можно значительно изменить энергию активации процессов, протекающих в этой системе. Кроме того, теория должна объяснить, каким образом слабые изменения системы, вызываемые магнитной обработкой, можно усилить и стабилизировать.

Обобщая все, что пока известно в области омагничивания водных систем, можно выявить следующие эмпирические закономерности.

1. Во всех случаях, когда во время магнитной обработки не происходят какие-либо необратимые изменения системы (возникновение устойчивых зародышей новой фазы и т. п.), эффект магнитной обработки после кратковременного возрастания постепенно самопроизвольно снижается и исчезает (рис. 50, а и рис. 7, 12, 36).

2. Обычно отмечается сложная зависимость эффектов от характеристики магнитного поля. Чаще всего, при достаточно малом шаге напряженности магнитного поля наблюдается полиэкстремальная зависимость (рис. 50, б, кривая 1). Это подтверждается многими опытами (см. например рис. 11, 17, 19, 21, 22, 27, 33, 38). Иногда наблюдается обратный эффект (например, коагуляция ча-

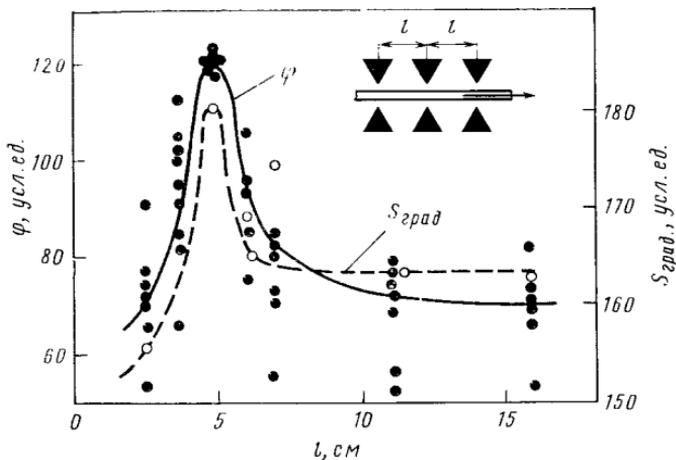


Рис. 51. Влияние расстояния между смежными парами магнитов  $l$  на величину зоны максимального градиента напряженности магнитного поля  $S_{\text{град}}$  и поляризацию электрода  $\varphi$ .

стиц сменяется их пептизацией). В ряде случаев кривая эффект — напряженность поля имеет один максимум (рис. 50, б, кривая 2). Эта зависимость показана на рис. 13, 23 и 35. Возможно, в этих опытах имелись слишком большие интервалы напряженности поля. Наконец, иногда фиксируется зависимость, характеризуемая кривой 3 (рис. 50, б). Она показана, в частности, на рис. 30 и 38. Возможно, в условиях этих опытов происходит накопление каких-то необратимых процессов.

В последние годы, как подчеркивалось нами, выявлено значительное влияние таких характеристик магнитного поля, как *градиент напряженности и частота*, на эффект омагничивания.

На рис. 51 приведены результаты опытов В. Е. Зеленкова. Варьируя расстояние между парами полюсов магнитов  $l$ , снабженных наконечниками в виде трехгранных призм, изменяли градиент напряженности магнитного поля. Результаты опытов показали наличие четкой связи между величиной эффекта (поляризацией электрода) и величиной градиента напряженности этого поля. Специальное исследование действия градиента напряженности магнитного поля на физико-химические характеристики проведено Н. А. Деревякиным и А. М. Куте-

повым [144]. Индикатором являлось изменение магнитооптического эффекта Фарадея (выше показано изменение этого эффекта после магнитной обработки водных растворов). Опыты проводили с раствором сульфата натрия (концентрация 23% по массе). Условия опытов изменяли по программе в соответствии с основными принципами планирования экспериментов. Установлено, что с увеличением градиента напряженности поля возрастает изменение магнитооптического эффекта.

В большинстве случаев отмечается сложная, полнэкстремальная зависимость эффекта от градиента напряженности магнитного поля. Опыты в этом направлении должны быть продолжены.

Исходя из общих соображений, можно предполагать влияние частоты переменного поля на омагничивание водных систем. Но строгих опытов проведено пока мало. Отметим, в качестве примера, результаты опытов А. М. Опалинской и Л. П. Агуловой [140]. Они изучали действие электромагнитной обработки воды полями невысокой напряженности на скорость оседания в ней частиц оксихлорида висмута (тест Пиккарди). Установлена зависимость эффекта от частоты электромагнитного поля, причем для данного случая максимум наблюдается в области инфранизких частот.

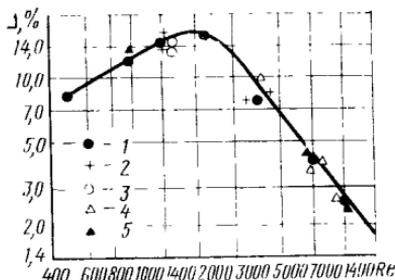
Близкие результаты получены В. А. Евлюжиным, И. В. Мигалкиным и А. Г. Картешевым, изучавшими влияние переменного слабого поля оптимальной частоты на скорость реакции гликолиза [140].

Следует отметить, что электромагнитные поля невысоких частот также оказывают воздействие на системы; степень воздействия зависит от числа пар полюсов, геометрической характеристики аппаратов и скорости потока. Воздействие полями высоких частот детально не изучалось (это еще предстоит сделать).

3. Почти во всех исследованиях отмечается наличие *оптимальной скорости потока* (рис. 50, в). Это прослеживается как в лабораторных, так и производственных условиях. Причины такой закономерности не выяснены. Возможно, что вначале с увеличением скорости возрастает действие сил Лоренца, а также увеличивается сила индуцированного тока; после достижения определенного значения скорости чрезмерная турбулизация потока и снижение времени пребывания раствора в поле каким-то

Рис. 52. Зависимость эффекта магнитной обработки раствора красителя от числа Рейнольдса для потока, проходящего через межполюсное пространство:

1 —  $d=5,8$  мм; 2 —  $d=5,64$  мм; 3 —  $d=5,4$  мм; 4, 5 —  $d=3,6$  мм.



образом вызывают уменьшение эффективности обработки водных систем.

Значительный интерес представляет работа М. И. Давидзона, в которой скорость течения воды в межполюсном пространстве связывается с числом Рейнольдса [145]. Он установил, что при использовании ряда промышленных магнитных аппаратов, работающих в оптимальном режиме, число Рейнольдса колеблется в пределах 2300—5000. Затем (вместе с Т. Н. Мальцевой) экспериментально проверил влияние числа Рейнольдса на процесс крашения хлопчатобумажных тканей прямыми красителями. В лабораторных и промышленных условиях определяли количество красителя, зафиксированного тканью; для этого снимали золь и подвергали его колориметрированию. Воду (дистиллированную или питьевую) пропускали через магнитное поле со строго постоянной скоростью, изменяли лишь диаметр трубки, по которой протекала вода. Как известно, число Рейнольдса  $Re$  определяется по формуле

$$Re = \frac{vd}{\nu}$$

где  $v$  — скорость течения воды;  $\nu$  — кинематическая вязкость воды;  $d$  — характерный размер системы (для труб — их диаметр). Следовательно, в этих опытах число Рейнольдса было переменным.

Результаты опытов, приведенные на рис. 52, свидетельствуют об экстремальной зависимости эффекта омагничивания от числа Рейнольдса. Для данных условий оптимальное число Рейнольдса, равное 2300, находится в области, характеризующей определенную (но не чрезмерную) турбулизацию потока.

Аналогичный вывод о роли числа Рейнольдса делают А. В. Сандуляк [250, с. 23] и другие исследователи. В то же время, отмечается, что оптимальные значения чисел Рейнольдса в отдельных конкретных случаях могут достигать нескольких десятков тысяч.

Теория магнитной обработки водных систем, которую еще предстоит разработать, должна учитывать и объяснять все отмеченные зависимости. Также необходимо выяснить влияние вида и концентрации примесей, присутствующих в воде в ионной, молекулярной и коллоиднодисперсной формах на результаты магнитной обработки водных систем. Причем не обязательно, чтобы примеси были ферро- или парамагнитными. Необходимо объяснить и все физико-химические изменения водных систем, которые описаны в гл. II и используются в практике омагничивания водных систем.

Уже в настоящее время выдвинуто много различных гипотез, которые можно разбить на три основные группы: а) основанные на влиянии полей на собственно воду; все виды примесей и даже ионы — продукты диссоциации воды — не учитываются; б) основная роль отводится ионам, всегда присутствующим в воде; в) основанные на влиянии магнитных полей на коллоидные микрочастицы, особенно ферро- и парамагнитные; в большинстве случаев присутствующие в воде. Следует отметить, что между этими группами гипотез нет четких границ; нельзя отделять одну гипотезу от другой, как это часто делается.

## **2. ВОЗМОЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ВОДНЫЕ СИСТЕМЫ**

Исходя из самых общих соображений, механизм воздействия электромагнитных полей на водные системы можно связать с явлениями резонансного типа [146]. Согласно этой гипотезе, молекулы воды, их ассоциаты, гидратированные ионы и микрочастицы примесей совершают непрерывные колебательные движения, которым соответствует определенный энергетический уровень. При воздействии на эту систему поля оптимальной частоты возможен резонанс, сопровождаемый возникновением квантов энергии, способных деформировать связи,

изменить структурную характеристику системы (в объеме, в сольватных оболочках).

Периодическое изменение свойств воды с ростом напряженности поля можно объяснить закономерностью Лармора, согласно которой прецессия электронов в магнитном поле линейно связана с его напряженностью. По мере изменения напряженности магнитного поля могут периодически возникать резонансные системы. В физике твердого тела установлено, что магнитные свойства твердых тел находятся в немонотонной осциллирующей зависимости от внешнего магнитного поля. Например, установлено периодическое изменение гальваномагнитных свойств металлов с ростом напряженности магнитного поля. Это объясняется перестройкой электронного спектра твердого тела и следовательно изменением характера межмолекулярных взаимодействий, вызванных магнитным полем.

Такие процессы вызываются как магнитными, так и электрическими полями (эффект Зеемана — Штарка для атомов и молекул). Поэтому свойства водных систем могут изменяться при воздействии как магнитного, так и электрического поля, а также при их совместном воздействии или наведении переменного электромагнитного поля. Именно резонансные явления могут лежать в основе преодоления активационного барьера, о котором говорилось выше.

А. А. Галаницкий в своей работе [24, с. 22—28] развил эти рассуждения. Он, рассматривая разные резонансно-активные формы движения молекул, отметил роль ионов с различным знаком гидратации в этом процессе. Роль резонансных взаимодействий подтверждается опытами, которыми для многих случаев установлена периодическая зависимость эффектов от напряженности и, следовательно, частоты магнитного поля (рис. 50, б), а также зависимость эффектов от частоты магнитного поля (см. выше). Важные опыты в этом направлении проведены С. Т. Усатенко и В. И. Морозовым. Они пропускали дистиллированную воду через однородное постоянное магнитное поле и одновременно воздействовали на нее высокочастотным переменным электромагнитным полем, вектор которого был перпендикулярен вектору постоянного магнитного поля. При совпадении частоты переменного поля с частотой прецессии ядер в

данном магнитном поле происходит избирательное поглощение электромагнитной энергии колебательного контура ядрами вещества, сопровождаемое их переходом на более высокий энергетический уровень.

Опыты показали, что даже очень слабые высокочастотные поля при совпадении их частоты с частотой прецессии ядер (определяемой с помощью осциллографа) на несколько часов изменяют диамагнитную восприимчивость воды и способствуют выпадению из нее кристаллов солей жесткости.

Ниже приведены различные гипотезы, высказанные отдельными авторами и подлежащие критическому рассмотрению.

#### Изменение свойств собственно воды

Н. И. Лычагин обосновывает возможность изменения магнитным полем валентного угла молекулы воды — его уменьшение более, чем на  $2^\circ$  [24, с. 41—45]. Это приводит к увеличению дипольного момента молекулы и изменению взаимодействия между молекулами с укрупнением их агрегатов.

Н. Непримеров, У. Ахмеров и А. Бильдюкевич высказали предположение, что после магнитной обработки изменяются ориентации ядерных спинов водорода в молекуле воды. Работами Бонифера и Гартека (Bonifer, Garteck), проведенными еще в 30-е годы, показано, что атомы водорода в газообразном состоянии соединены попарно при параллельной или антипараллельной ориентации спинов ядер (орто- и параводороды). Мекке (Messe) спектроскопическими исследованиями установил, что в водяном паре содержится 75% ортомолекул и 25% парамолекул. Это соотношение не остается постоянным и зависит от многих причин — температуры, параметров магнитного поля, действия катализаторов. Энергия, необходимая для орто- и пара-переходов невелика; эти переходы могут осуществляться в магнитном поле без нарушения водородных связей. Соотношение орто- и парасостояний изменяется медленно. Например, в талой воде на это требуются сутки. Однако пока остается неясным механизм действия орто- и парасостояний на свойства воды.

Принципиально новый подход к влиянию магнитного поля на структуру собственно воды содержится в работе

В. И. Яшкичева [147]. В качестве исходной модели воды он рассматривает беспорядочный, с дефектами, высоко напряженный каркас из водородных связей, заполняющий пространство единообразно (вода является как бы гигантской трехмерной молекулой). Кроме того, В. И. Яшкичев рассматривает воду как совокупность подсистем, в которых молекулы воды различаются по числу разорванных связей. Анализировалась подсистема из молекул, имеющих четыре связи с соседями, и совокупность подсистем из молекул с тем или иным числом разорванных связей. «Эти молекулы образуют «квази-дефекты» различного строения, которые можно рассматривать как своеобразные активные радикалы».

Согласно В. И. Яшкичеву, при переходе из квазикаркаса в квазидефекты свободная энергия одного моля изменяется на величину  $\Delta F$  (кДж/моль)

$$\Delta F = RT \ln \frac{P}{1-P} - RT \ln \sum_i q_i q^{\gamma_i}$$

где  $P$  — относительное время существования связи (доля существующих связей);  $q$  — доля свободных пустот;  $q_i$  — доля перемещений молекул в составе кинетической единицы (участка квазикаркаса)  $i$ -го строения;  $\gamma_i$  — число пустот, которые используются при перемещении кинетической единицы  $i$ -го строения;  $T$  — абсолютная температура;  $R$  — универсальная газовая постоянная.

$\Delta F$ , отнесенная к одной молекуле при постоянных объеме и температуре, имеет смысл разности химических потенциалов молекул в дефектах и в каркасе.

Количественными расчетами В. И. Яшкичев установил, что с ослаблением связей величина  $\Delta F$  уменьшается. При сравнительно небольших структурных изменениях  $\Delta F$  способна изменять знак.

Магнитная восприимчивость воды — сумма отрицательной диамагнитной составляющей и вектора положительного поляризаационного магнетизма. Последний возрастает с усилением связи молекул между собой: намагниченность молекул тем больше, чем больше их химический потенциал. Когда  $\Delta F > 0$ , намагниченность воды в квазидефектах больше, чем в квазикаркасе. При  $\Delta F < 0$  имеется обратная взаимозависимость. Различие в намагниченности подсистем под действием магнитных полей приводит к изменению распределения молекул

по подсистемам, что влияет на условия протекания химических реакций в воде.

Таким образом, при  $\Delta F > 0$  магнитное поле усиливает переход части наиболее реакционноспособных молекул в пассивное состояние; при  $\Delta F < 0$  молекулы активируются. Смещение равновесия связано с изменением не энергетических, а вероятностных факторов, роль которых показана в [142]. Отмечается также, что при рассмотрении взаимодействия магнитного поля с водой как с гигантской молекулой отпадают трудности, возникающие при сопоставлении поглощаемой водой энергии магнитного поля с энергией  $kT$ .

В итоге, магнитное поле является некоторым аналогом катализатора, влияющего на структуру воды и ее гидратационную способность вплоть до изменения знака эффекта.

В. И. Яшкичев подчеркивает, что действие магнитного поля на процессы, происходящие в водных средах, должны отличаться исключительной чувствительностью к внешним воздействиям — вибрации, давлению, присутствию микрогетерогенных фаз и пр. Этим объясняется неполная воспроизводимость опытов (см. гл. II, п. 4).

Авторы «водяных» гипотез пока лишь в качественной форме и далеко не всегда учитывают присутствие в воде примесей газов, микрочастиц и ионов, всегда возникающих при диссоциации воды (гидроксония и гидроксила). Опыты с абсолютно чистой водой, как указывалось выше, не проводились (а вода без продуктов ее диссоциации и растворенных газов вообще не существует).

#### Изменение структуры водных растворов воздействием на ионы

Влияние электромагнитных полей на водные системы через ионы, всегда в них содержащиеся, рассмотрено рядом авторов. Л. Г. Сапогин с соавторами [24, с. 18—22] выдвинули гипотезу, основанную на объединении продуктов диссоциации воды — гидроксила и гидроксония в кольца, устойчивость которых была предсказана Липпинкоттом [149].

Упоминаются и другие механизмы, приводящие к специфическому структурированию воды, содержащей

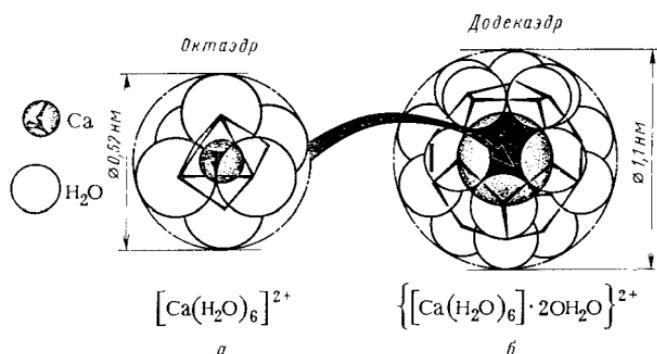


Рис. 53. Стабилизация гексааквакомплекса кальция  $[Ca(H_2O)_6]^{2+}$  в полости додекаэдрической структуры воды:

*a* — гексааквакомплекс кальция; *b* — додекаэдрическая структура из молекул воды.

ионы после ее магнитной обработки. Например, Л. Д. Кисловский и В. В. Пучков выдвигают гипотезу об образовании больших молекулярных ассоциатов вокруг ионов кальция (наиболее характерной примесью в технической и природной воде) [13, с. 25—31; 139, с. 147—163].

Л. Д. Кисловский основывается при этом на представлениях Л. Полинга (L. Pauling) о наличии в воде клатратных структур, играющих основную роль в образовании газовых гидратов. Такие структуры могут существовать в воде тем дольше и быть развиты тем больше, чем в большей степени соответствуют размерам полостей находящиеся в них ионы или молекулы. Рассмотрев ряд возможных «заполнителей», Л. Д. Кисловский остановился на ионе кальция. При взаимодействии ионов кальция с молекулами воды наиболее выгодно образование гексааквакомплекса  $[Ca(H_2O)_6]^{2+}$ , сопровождаемое выделением энергии 630 кДж/моль.

Диаметр гексааквакомплекса кальция (рис. 53), равный 0,516 нм, хорошо соответствует диаметру одной из полостей клатратной структуры (0,52 нм). Это приводит к образованию больших метастабильных ионов (рис. 53, *b*), которые могут значительно изменять структуру и свойства воды. Заметим, что кроме ионов кальция могут быть и другие примесные заполнители клатратных пустот (например, молекулы хлора). Для возникновения подобных аквакомплексов необходимо пре-

одолеть определенный активационный барьер, что и помогает осуществить кратковременное воздействие электромагнитного поля.

Следует заметить, что хотя гексааквакомплексы метастабильны, время их существования может исчисляться многими часами.

Отмеченные при магнитной обработке изменения структурных характеристик воды (возрастание в ней числа и размеров сплоченных ассоциатов-блоков, разделенных неупорядоченной средой) носят пока качественный характер. Однако этого может быть достаточно для важных заключений.

Своеобразное изменение степени упорядоченности воды после магнитной обработки подтверждается многими экспериментами и позволяет объяснить (в качественной форме) почти все изменения технологических и биологических процессов, наблюдаемые на практике:

а) прежде всего изменение ИК-спектров воды (что и установлено экспериментально). Расчеты Л. Г. Сапогина с соавторами показали, что изменение ИК-спектра должно наблюдаться как в области валентных и деформационных колебаний (что отмечено нами экспериментально), так и в далекой ИК-области ( $0-800\text{ см}^{-1}$ ), в которой должны появиться новые полосы и смещения вращательно-колебательных спектров [24, с. 22]. Выше показано, что это предположение получило экспериментальное подтверждение [46];

б) увеличение среднестатистического притяжения молекул воды к ионам может привести к уменьшению дальней гидратации определенных ионов и повлиять на смачивание водой твердой поверхности. Эти эффекты установлены многими опытами (см. гл. II). Они тесно связаны с коагуляцией, адсорбцией и другими процессами;

в) экстремальный и полиэкстремальный характер зависимости эффектов обработки от напряженности поля и скорости потока, что связано с соблюдением некоторых условий квантования, при которых возникают кольцевые агрегаты и появляется возможность возникновения ассоциатов;

г) уменьшение ионного произведения воды, подтвержденное экспериментально [13, с. 19], обуславливает наблюдаемое снижение степени гидролиза солей и изме-

нение других физико-химических характеристик воды, рассмотренное в гл. II.

Особое внимание следует уделить роли «преднарушения» структуры воды различными физическими воздействиями, обусловленными, например процессами выделения газов из раствора и их растворения (см. ниже). Воздействию слабых магнитных полей подвержены, прежде всего, молекулы воды, связь которых с другими молекулами чем-либо ослаблена. Легче всего подвергается воздействию молекула, сохранившая одну прочную водородную связь. Отмеченное возможное перераспределение молекул по различным энергетическим уровням может само по себе сказаться на химических реакциях и биологических эффектах.

Нам представляется, что значительную роль должно играть изменение гидратации ионов и микроскопических твердых частиц. Влияние гидратации на элементарные химические акты и на диффузию хотя и исследовано недостаточно, но несомненно, что это влияние велико. Вместе с тем, есть данные о том, что магнитная обработка действует на гидратацию ионов и на смачиваемость водой (гидратированность) твердых поверхностей [24, с. 62—67, 70—73, с. 73—75; 73, 94, 95]. Это направление, как и другие, заслуживает развития.

Возможно, что отсутствие учета степени нарушения структуры воды перед ее магнитной обработкой является одной из причин плохой воспроизводимости лабораторных опытов.

#### Роль газов, растворенных в воде

Обращает на себя внимание также возможное влияние растворенных в воде газов на результаты магнитной обработки. В воде практически всегда содержатся растворенные газы, определяющие ее структуру (этот вопрос рассмотрен в гл. I). При обезгаживании воды изменяются многие ее физико-химические свойства. Например, опыты В. Д. и И. Д. Зелепухиных показали, что в этом случае значительно изменяются свойства воды [150].

Прежде всего рассмотрим возможность взаимодействия различных атмосферных газов с магнитным полем. Хорошо известен эффект изменения переноса молекуляр-

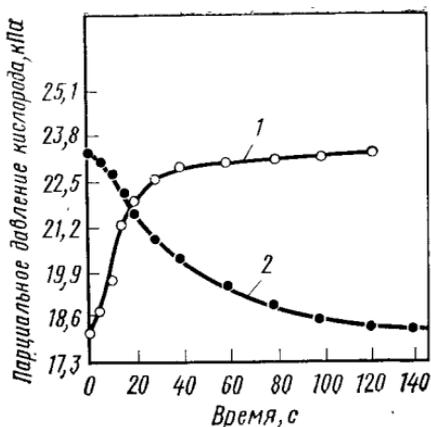
ных газов в магнитном поле (эффект Зенфтлебена). Это изменение — следствие увеличения эффективного сечения столкновения молекул в результате вызванной магнитным полем прецессии магнитных моментов молекул и возникающей их несферичности. Вначале это относилось только к парамагнитным газам и было исследовано экспериментально на кислороде, находящемся во взаимно перпендикулярных полях — постоянном магнитном и высокочастотном. Наблюдалось резонансное уменьшение теплопроводности парамагнитных газов при приближении частоты высокочастотного поля к частоте прецессии молекул в постоянном поле. Это объясняется тем, что наряду с прецессией молекул в постоянном магнитном поле, приводящей к объемному эффекту Зенфтлебена, возникает еще вторая прецессия молекул вокруг одной из вращающихся составляющих переменного поля, умножающая движение молекул и дополнительно увеличивающая эффективное сечение столкновений. Другими словами, происходит своеобразная активация кислорода. Предполагается, что такой газокинетический магнитный резонанс присущ и непарамагнитным молекулярным газам [151].

Это подтвердилось опытами, проведенными с инертным молекулярным азотом, молекулы которого имеют значительный магнитный момент и обладают большой несферичностью. Поскольку вращательный магнитный момент азота на три порядка меньше постоянного магнитного момента кислорода, были резко увеличены напряженности магнитного поля.

Установлена *периодическая зависимость теплопроводности от напряженности магнитного поля*. Это явление, выявленное В. Д. Борманом и др. (Институт Атомной энергии им. Курчатова, М., 1976) было признано открытием.

Макроскопическое проявление действия магнитного поля на перемещение парамагнитного кислорода в газовой среде хорошо известно и применяется для измерения концентрации кислорода. Это, естественно, относится и к растворенному в воде кислороду, что еще раз отмечено в работе [152]. Полярнографическим методом измерялось изменение во времени концентрации кислорода в физиологическом растворе вблизи стенки стеклянного сосуда. Вначале к этому участку приближался постоянный магнит напряженностью 78 кА/м. Когда концентрация кислорода вблизи электрода стабилизировалась, магнит либо переносили к противоположному участку сосуда, либо убрали вообще. В обоих случаях наблюдалось четкое

Рис. 54. Изменение концентрации кислорода в физиологическом растворе вблизи стенки сосуда после поднесения к ней магнита (1) и удаления магнита (2).



возрастание концентрации кислорода вблизи магнита (рис. 54) и столь же четкое понижение концентрации кислорода в противоположной зоне раствора. После устранения влияния магнита (быстрого удаления его) концентрация кислорода в бывшей «магнитной»

зоне самопроизвольно восстанавливалась до исходного уровня (рис. 54, кривая 2). Можно заметить, что скорость нарастания концентрации кислорода в «магнитной» зоне в течение первых 40 с гораздо выше, чем скорость понижения этой концентрации после удаления магнита. Почти вдвое изменяется и время выхода этих процессов на стационарный уровень. Это происходит вследствие различной степени воздействия на молекулы кислорода магнитного поля (в первом случае) и свободной диффузии (во втором). Попутно в этой работе подтверждено отмеченное ранее повышение средней концентрации кислорода в растворе после многократного приближения к нему постоянного магнита.

В работе [152] также отмечается, что перемещение кислорода в растворе под влиянием магнитного поля может играть большую роль в биологических процессах (в частности — в процессах метаболизма).

Влияние предварительного воздействия магнитных полей на поведение кислорода в водных растворах недавно подтверждено А. И. Виленским, Г. Д. Ерыгиным, Е. И. Фунбергом и нами. Магнитной обработке подвергали дистиллированную воду (с удельным сопротивлением  $80 \text{ мкСм} \cdot \text{м}^{-1}$ ) и растворы хлоридов натрия, калия и магния, а также сульфата железа (концентрация от 0,01 до 1,0 Н). Затем, используя электрохимический датчик Кларка, определяли концентрацию кислорода в растворах, протекающих в кювете при продувке через них атмосферного воздуха. На рис. 55 приведены в качестве примера хорошо и многократно воспроизводимые изменения концентрации кислорода, фиксируемые датчиком в растворе хлорида натрия 0,01 Н. «Память» растворов на магнитную обработку — примерно 12 ч. Причины та-

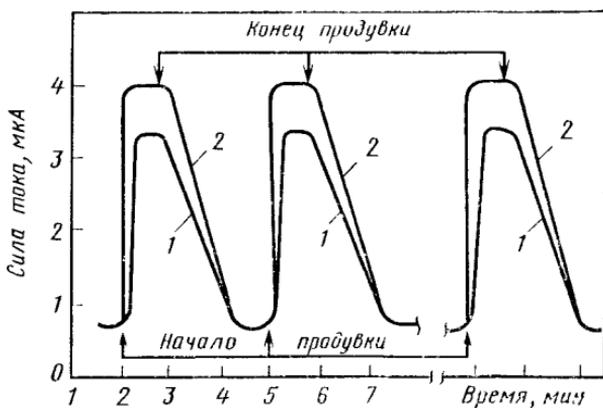


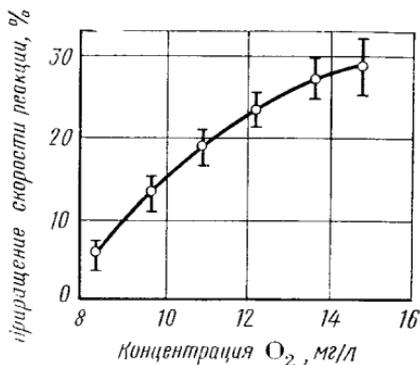
Рис. 55. Изменение концентрации кислорода в растворе NaCl при продувке через него воздуха:  
 1 — без предварительной магнитной обработки; 2 — после предварительной магнитной обработки ( $H=160$  кА/м).

кого четкого эффекта могут быть разные: повышение концентрации кислорода в растворе, ускорение диффузии кислорода в растворе и улучшение закрепления микропузырьков газов воздуха на поверхности датчика.

Мы уже упоминали о влиянии концентрации кислорода в деионизированной воде на изменение ее магнитной восприимчивости после магнитной обработки (см. рис. 15). В работе [44, рис. 8] отмечается наиболее заметное влияние магнитной обработки дистиллированной воды на ИК-спектры поглощения при повышении в ней содержания кислорода.

Исследовано также влияние растворенных газов на кинетику гетерогенной реакции образования фторида кальция ( $\text{Ca}^{2+} + \text{F} \rightarrow \text{CaF}_2$ ) [153]. Для этого 0,01 М раствор  $\text{CaCl}_2$  насыщали кислородом до определенных концентраций, определяемых полярографическим методом. Затем раствор пропускали со скоростью 0,92 м/с по трубке с сужением, находящимся в межполюсном зазоре аппарата для магнитной обработки трансформаторного типа (см. рис. 74). Напряженность магнитного поля составляла 16,8 кА/м. В обработанный раствор добавляли 0,25 М NaF, фиксировали время начала опыта и потенциометрическим методом при помощи фторселективного электрода контролировали уменьшение во времени концентрации фтор-иона в растворе. По кинетичес-

Рис. 56. Влияние концентрации кислорода в воде, подвергаемой магнитной обработке, на кинетику образования фторида кальция.



ким кривым рассчитывали константы скорости реакции. Для каждой концентрации кислорода проводили восемь параллельных опытов. Результаты опытов (рис. 56)

показали, что с увеличением концентрации кислорода в обрабатываемом растворе эффект магнитной обработки значительно возрастает (хотя кислород в данной реакции непосредственно не участвует).

Следует также обратить внимание на возможную роль в магнитной обработке выделения газов из раствора в межполюсном пространстве (что мы отмечали неоднократно). Почти во всех эффективно действующих аппаратах для магнитной обработки водных систем по ряду причин происходит перепад и даже пульсация давлений, что обуславливает выделение газов из растворов и обратное их растворение. Перепад давлений может вызываться магнитогидродинамическими и особенно гидродинамическими воздействиями на поток воды. Магнитогидродинамические факторы рассмотрены в этой главе, гидродинамические — в гл. IV.

Пульсации давления в потоке воды вызывают временное пересыщение растворов газов и флуктуации их концентраций. В процессе возникновения флуктуаций концентраций газов и их исчезновения молекулы газов с большой скоростью перемещаются в воде, нарушая ее структуру и ослабляя связи отдельных молекул с другими окружающими их молекулами. Система становится менее равновесной и, следовательно, более подвержена воздействию магнитных полей.

Пока имеется ограниченное число опытов, косвенно свидетельствующих о влиянии выделения газов из раствора на эффективность ее магнитной обработки. О. Т. Крылов, В. И. Классен и Л. А. Ларин сравнивали скорость образования карбоната и фторида кальция при

предварительной магнитной обработке дистиллированной воды в отсутствие и при наличии сужения и вибрации в межполюсном пространстве, вызывающих дегазацию раствора:

Скорость потока, м/с	0,31	0,40	0,62	0,79	1,11	Вибрация
Градиент давления, Па	270	450	1080	1760	3470	—
Степень дегазации, %	49	22	3,1	4,1	7,5	18,1

Поскольку изменение градиента давления и вибрация могут разносторонне влиять на реакции, действие этих факторов на обе реакции проверяли как в отсутствие, так и при наложении магнитного поля. Выявлено отчетливое влияние последнего; оно тем заметнее, чем больше выделяется газов из раствора в межполюсном пространстве.

\*   \*  
\*

Все сказанное в этом разделе свидетельствует о том, что *растворение в воде газов, особенно — кислорода, а также их выделение из раствора сильно и разносторонне влияют на омагничивание водных систем.* Это, кстати, может быть одной из причин непроизвольных изменений результатов лабораторных опытов, поскольку данный фактор обычно не учитывается и не стабилизируется. Кроме того, возможность повышения эффективности омагничивания водных систем регулированием концентрации растворенных газов и выделяющихся из раствора дает основание сделать некоторые практические выводы (оптимизация места установки магнитных аппаратов, предварительная аэрация воды, турбулизация потока в межполюсном пространстве и др.). Однако пока нельзя считать доказанным, что именно растворенные газы и только они определяют во всех случаях изменение свойств водных систем омагничиванием. Особое внимание привлекают ультрамикроскопические пузырьки газов, несущие значительные электрические заряды, которые могут взаимодействовать с магнитными полями.

### Воздействие полей на ионы в водном растворе

Взаимодействие электромагнитных полей с ионами водных растворов является одной из наиболее важных теоретических проблем магнитной обработки водных систем, рассматриваемых во многих работах [57, 154 и др.].

При перемещении раствора в магнитном поле возникает противоположное циклотронное перемещение катионов и анионов под действием сил Лорентца, являющееся основным фактором, действующим на ионы. Эти силы определяются уравнением

$$F = KquH \sin \alpha$$

где  $F$  — сила Лорентца;  $q$  — заряд иона;  $u$  — скорость перемещения иона;  $H$  — напряженность магнитного поля;  $\alpha$  — угол между направлением магнитного потока и направлением движения иона;  $K$  — коэффициент пропорциональности.

Поскольку в  $K$  входит скорость света, то, по неоднократно высказываемому М. В. Волькенштейном мнению, величина сил Лорентца «пренебрежимо невелика». С тем, что они невелики, можно согласиться, а вот с тем, что ими можно пренебречь, согласиться никак нельзя. Именно силы Лорентца обуславливают такие общеизвестные, хорошо измеримые и воспроизводимые эффекты, как эффекты Холла, Гартмана и др.

В. Б. Евдокимов и А. П. Кравчинский экспериментально подтвердили известный эффект Холла; при наложении магнитного поля на электролит, в котором протекает слабый электрический ток, происходит поперечное разделение ионов разного знака, что сопровождается возникновением разности потенциалов на измерительных электродах. Результаты этих измерений приведены в табл. 11.

Опыты показали, что после выключения магнитного поля система не мгновенно возвращается в исходное состояние; эффект заметнее для разбавленных растворов.

При возникновении сил Лорентца ионы начинают двигаться вокруг силовых линий магнитного поля с определенной частотой. Радиус циклотронной окружности (ларморовский радиус) поддается расчету. Так, Г. М. Семенов, для напряженности поля 79,6 А/м и скорости воды 1—3 м/с нашел, что эти радиусы для иона кальция и сульфатного иона равны и составляют соответ-

Таблица 11. Влияние магнитного поля на величину потенциала в поперечном направлении при разной концентрации раствора  $\text{CuSO}_4$

Концентрация, мг/л	Максимальное отклонение при включении поля, мВ		Максимальное отклонение при выключении поля, мВ	
	перед включением	после включения	перед выключением	после выключения
0,1	10	25	16	30
0,05	20	80	—	—
0,025	80	350	320	250
0,0015	80	500	—	—

ственно  $\approx 0,17$  и  $\approx 0,04$  мкм (т. е. весьма заметны) [24, с. 37—40].

Количественная оценка величины сил Лорентца применительно к рассматриваемым здесь вопросам дается рядом авторов. Ниже приведены соображения и результаты расчетов Ю. В. Мягкова, свидетельствующие о том, что и в этих условиях не все так безнадежно.

Чтобы перевести гидратированные ионы примесей в возбужденное, метастабильное состояние необходима передача раствору энергии порядка 10 кДж/моль или 0,1 эВ/ион, которая соизмерима с энергией теплового движения частиц (2,5 кДж/моль или 0,025 эВ/ион). Ни магнитное поле, ни потеря гидравлического напора жидкости не могут обеспечить ионы такой дополнительной энергией. Однако при взаимном перемещении магнитного поля и жидкости возникает магнитофорез — направленное анизотропное движение ионов внутри раствора (дрейф ионов), вызываемое силами Лорентца. От этих сил и не требуется преодоления энергетического барьера между двумя состояниями системы (работа сил Лорентца в миллионы раз меньше энергии теплового движения частиц). Роль дрейфа ионов может заключаться в повышении вероятности взаимодействия катионов и анионов вследствие уменьшения между ними расстояния. Согласно же теории активных соударений Аррениуса, вероятность ассоциации ионов пропорциональна степени их сближения и времени пребывания одного вблизи другого.

Для оценки возможности изменения вероятности ассоциации ионов приходится пользоваться схематически-

ми представлениями, рассматривая некоторое мгновенное равномерное распределение ионов в объеме раствора.

Среднее расстояние между ионами оценено Ю. В. Мягковым для раствора, состоящего из ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{CO}_3^{2-}$ . Найдено почти двукратное сближение пар противоположных ионов, что не может не содействовать улучшению образования ионных ассоциатов. Пространственный фактор может быть наиболее существенным при магнитной обработке разбавленных растворов, которыми обычно являются омагничиваемые водные системы.

Нам представляется, что *значительную роль могут играть большие ускорения движения ионов* в начальный момент вхождения в магнитное поле, особенно высокоградиентное. При таком ускорении дальняя гидратация ионов может на какое-то мгновение уменьшиться, что также способствует взаимодействию противоположных ионов.

Мы привели ряд экспериментальных данных, свидетельствующих о влиянии магнитной обработки на гидратацию ионов (глава II, п. 1). Это явление подтверждено Н. И. Мелиховой и С. Ф. Дудкиным на примере омагничивания раствора сульфата железа. Оказалось, что в этом случае снижается отрицательная адсорбция ионов железа на поверхности раздела раствор — воздух. По-видимому, рассматриваемое явление связано со значительным уменьшением гидратации катиона железа [157]. Таким образом, временное изменение магнитной обработкой дальней гидратации ионов в водных системах может явиться одним из существенных механизмов регулирования физико-химических свойств последних.

В. Г. Быхов, Ю. А. Качалов и Ф. И. Кукоз, приняв ряд допущений, получили уравнение, характеризующее распределение концентрации ионов в сечении потока, направленного перпендикулярно магнитным силовым линиям [24, стр. 68—70]:

$$C = \frac{\eta \sigma b}{\alpha K} \bar{v} \frac{H_a \operatorname{ch} H_a \frac{z}{a} - \operatorname{sh} H_a}{H_a \operatorname{ch} H_a - \operatorname{sh} H_a}$$

где  $C$  — концентрация ионов;  $\eta$  — вязкость раствора;  $\sigma$  — электропроводность раствора;  $b$  — индукция магнитного поля;  $K$  — постоянная;  $\bar{v}$  — средняя скорость электролита;  $H_a$  — число Гартмана:

$$H_a = (\sigma/\eta)^{1/2} b \alpha$$

$z$  — координата в направлении поля;  $a$  — полуширина канала.

Это уравнение также показывает возможность флуктуации концентраций ионов при протекании раствора в магнитном поле.

Представляют интерес процессы, которые могут протекать в краевых зонах магнитного поля. Они могут существенно отличаться от процессов, протекающих в зоне однородного поля. Сильная неоднородность поля в краевых зонах способствует образованию волн и перемещению ионов в направлении распространения волн, т. е. возникают продольные колебания. Кроме магнитно-звуковых волн в краевых зонах возникают колебания электрического поля с той же частотой, что и колебания магнитно-звуковых волн. В краевых зонах поля в определенных условиях может возрасти количество «замагниченных» ионов, длина свободного пробега которых в отсутствие магнитного поля больше ларморовского радиуса, что приводит к возникновению флуктуации концентраций ионов. При этом резко возрастает вероятность ассоциации ионов. При их агрегации происходит нейтрализация ассоциатов, которые выносятся из зоны повышенной концентрации. Эта гипотеза доступна экспериментальной проверке.

Большая роль именно краевых зон магнитного поля и концентрации в них ионов в образовании ассоциатов отмечена Е. З. Гак [155]. По ее расчетам гидродинамические колебания (типа звуковых) возникают при ничтожно малых затратах энергии.

О влиянии магнитогидродинамических сил на асимметрию гидратных оболочек упоминается в работе В. И. Миненко [24, с. 38], но подробно об этом говорится в работе Е. З. Гак, Э. Х. Рохинсон и Н. Ф. Бондаренко [24, с. 57—61]. В главе II, п. 1 приведены результаты опытов, свидетельствующие об изменении гидратации ионов при омагничивании растворов.

Для нарушения структуры гидратной оболочки в области дальней гидратации необходимо, чтобы магнитогидродинамическое давление жидкости превышало предельное напряжение сдвига  $\tau_{0,2}$ ; в рассматриваемом случае оно составляет 5—15 Па [156]. В свою очередь, магнитогидродинамическое давление можно найти из уравнения

$$p_m = 2\mu\mu_0 \frac{\sigma_r}{\delta_r} H a_r$$

где  $\mu$  — относительная магнитная проницаемость среды;  $\mu_0$  — магнитная постоянная;  $\sigma_r$  — поверхностная плотность заряда;  $\delta_r$  — толщина сольватного слоя;  $v_x$  — скорость движения ионов (с потоком);  $H$  — напряженность магнитного поля;  $a_r$  — радиус сферического иона.

Оптимальную напряженность магнитного поля  $H_{\text{опт}}$ , при которой разрушается гидратная оболочка, можно

определить из уравнения

$$H_{\text{опт}} = \frac{\tau_{0,2}\delta_r}{2\mu_0\sigma_r a_x v_x}$$

где  $a_x$  — радиус иона;  $\tau_{0,2}$  — напряжение сдвига.

В случае одновременного воздействия на воду скрещенных магнитного и электрического полей (по Э. Х. Рохинсон) магнетогидродинамическое давление в приэлектродной области равно

$$P_M = \mu_0 \frac{I}{h}$$

где  $I$  — сила тока, проходящего через электролит;  $h$  — высота электрода.

Зависимость магнетогидродинамического давления от силы тока проверена на модели — в кольцевой электрохимической ячейке. При этом установлено наличие оптимального соотношения между напряженностью и силой тока, при котором  $\tau_{0,2} \approx 5$  Па.

Остается недостаточно ясным, почему образующиеся ионные ассоциаты при выходе из зоны повышенной концентрации не распадаются мгновенно на отдельные ионы. Если не учитывать возможные структурные изменения (что представляется нам неправильным), то придется отводить основную роль в стабилизации ассоциатов образованию зародышей новой фазы, быстро возникающих и медленно разрушающихся. Определенную роль в этом процессе могут играть и предзародышевые скопления ионов и молекул, необходимые для накопления такой массы вещества, при которой скачкообразно возникают устойчивые зародыши новой твердой фазы.

В ряде работ, особенно в работе Н. Ф. Бондаренко и Е. З. Гак, основное действие магнитных полей на водные системы через ионы отводится возникновению мелкокомасштабной турбулизации воды вблизи поверхности микрочастиц (как сказано выше, в природной и технической воде всегда содержится огромное количество микрочастиц и микропузырьков) [158]. Эти авторы отмечают, что при создании в жидкости неоднородного магнитного поля с индукцией  $B$  и ее градиентом  $\text{grad } B$  в объеме жидкости и на межфазных границах возникают ин-

дукционные токи плотностью  $j_{и,0}$  и  $j_{и,мф}$ , соответственно, т. е.

$$j_{и,0} = \sigma_0 (\vec{V}_0 \vec{B}_0)$$

$$j_{и,мф} = \sigma_{мф} (\vec{V}_{мф} \vec{B}_{мф})$$

где  $\sigma_0$  и  $\sigma_{мф}$  — электропроводности в объеме раствора и на межфазных границах;  $B_0$  и  $B_{мф}$  — индукции;  $V_0$  и  $V_{мф}$  — скорости;  $\sigma_0 < \sigma_{мф}$ .

В результате, при  $\sigma = \text{const}$  во всем объеме жидкости возникает интенсивная макро- и мелкомасштабная турбулизация, что сопровождается вихревым движением жидкости и микрочастиц. Она особенно интенсивна при неоднородности живого сечения канала и сохраняется определенное время после выхода из него жидкости.

Турбулентность жидкости вызывает выделение газов из раствора, снижая порог критического давления кавитации  $p_{кр}$ , определяемого выражением

$$p_{кр} = \frac{p_a \sqrt{2\alpha} + p_{н.п}}{1 + \sqrt{2\alpha}}$$

где  $p_a$  — атмосферное давление;  $p_{н.п}$  — давление насыщенного пара;  $\alpha$  — отношение концентраций свободного и растворенного газа.

Расчеты показывают, что деаэрация жидкости при гидродинамической кавитации ускоряется в 2—3 раза. При этом кавитация сопровождается возникновением продуктов высокоэнергетических реакций при коллапсировании пузырьков (оксидов азота, пероксида водорода, озона и т. д.).

Такой анализ процессов, происходящих при магнитной обработке водных систем, перекликается с приведенными выше соображениями и экспериментальными данными о поведении и роли растворенных газов.

Деаэрация жидкости, в частности, смещает углекислотное равновесие, интенсифицируя образование кристаллов карбонатов кальция и магния.

В работе [158] приводится много предположений о возможных изменениях состава примесей в омгничиваемой воде. В частности, выпадение растворенных веществ вызывает «опреснение» воды и повышение ее растворяющей способности. В этой же работе подтверждается, что основной вклад энергии вносит гидродинамический поток. Но в этой работе также делается вывод о том, что «наличие молекулярно-растворенного воздуха, если

он по каким-либо причинам не может переходить в микропузырьки, существенно не изменяет свойств водных систем в магнитных полях». Это противоречит ряду данных о роли растворенного парамагнитного кислорода и другим соображениям, приведенным нами выше.

П. И. Макаров (Камчатский филиал Дальневосточного Рыбвтуза) рассматривает систему магнитный аппарат — защищаемый от накипи и коррозии объект как магнитотермодинамическую пару. В ней проводниками являются электропроводящий водный раствор и контактирующие металлы, а спаи находятся в разных условиях, что обуславливает контактную разность потенциалов, обеспечивающую циркуляцию электрических зарядов и масс частиц по замкнутому контуру. Именно от движущей силы магнитотермодинамической пары зависит степень разрушения накипи, величина коррозии и другие процессы.

Анализируя ряд уравнений, характеризующих изменение изобарного потенциала (через который может быть выражена движущая сила магнитотермодинамической пары), П. И. Макаров приходит к выводу, что действие указанной системы зависит от размеров магнитного аппарата, объема проходящей воды, разности давлений и напряженности магнитного поля. На примере образования полуводного гипса сделан вывод, что магнитное поле снижает равновесную концентрацию веществ, их ионы  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  будут перемещаться в область магнитного поля, чем и объясняется противонакипный эффект [241, с. 24].

#### **Воздействие магнитных полей на коллоидные ферромагнитные и другие частицы**

Стремление связать все эффекты омагничивания водных систем с действием магнитных полей на микроскопические коллоидные ферро- и парамагнитные частицы возникло сразу же после выявления необходимости объяснения очевидного влияния магнитной обработки воды, поступающей в различные теплообменные аппараты, на образование накипи. На определенной (начальной) стадии развития исследований это было совершенно естественным, поскольку позволяло элементарно просто объяснить причины применения магнитной обработки, широко применяемой в теплоэнергетике [159, 160, с. 274—283].

Влияние ферромагнитных частиц на процессы кристаллизации и образования накипи имело определенное экспериментальное обоснование (см. главу II, п. 2). Но имеется ряд веских соображений, не позволяющих считать этот механизм действия магнитных полей на различные изменения водных систем (в частности, процес-

сов кристаллизации) универсальным и главным. Перечислим вкратце эти соображения.

1. Непонятно, почему магнитная коагуляция периодически изменяется с ростом напряженности магнитного поля и улучшается с увеличением скорости потока, т. е. с уменьшением времени пребывания частиц в магнитном поле (см. рис. 50).

2. Непонятно, как могут возникать различные изменения омагниченной дистиллированной воды и, тем более, кислых растворов, в которых тонкие ферромагнитные частицы неизбежно полностью растворяются (например, при магнитной обработке фосфорной кислоты).

3. Трудно на основе магнитной коагуляции объяснить множество различных эффектов, описанных в главе II. В частности, непонятны изменения инфракрасных спектров поглощения, ряда химических реакций, гидратации ионов, процессов адсорбции, ионного обмена, растворения старой накипи и многих других.

4. Присутствие в омагниченных водных системах именно ферромагнитных частиц маловероятно.

Этот вопрос был специально исследован А. И. Горшковым [13, с. 72—74]. Рассмотрев на основе диаграммы Пурбэ условия термодинамической устойчивости гидроксидов железа в воде в присутствии его двух- и трехвалентных ионов и измерив рН-окислительный потенциал в разбавленном (1—10 мг/л) растворе  $\text{FeCl}_2$ , А. И. Горшков установил, что в реальных условиях присутствие в воде частиц магнетита мало вероятно. Следовательно, коллоидные железосодержащие частицы, присутствующие в воде, по всей вероятности обладают не ферромагнитными, а парамагнитными свойствами.

Согласно В. И. Каткову и Е. Ф. Тебенихину [13, с. 274—283], при магнитной обработке воды происходит агрегация ферромагнитных частиц, ускоряющая кристаллизацию. Опыты с очень крупными частицами магнетита показали, что они действительно слипаются в магнитном поле. Однако парамагнитные частицы  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  не слипаются в магнитном поле. Согласно опытам Е. Е. Библика и И. С. Лаврова, золи  $\text{Fe}_3\text{SO}_4$  размерами более 20 нм вполне устойчивы даже при воздействии сильных магнитных полей [37, с. 7].

Гипотеза о том, что при магнитной обработке водных систем все дело заключается в магнитной коагуляции

микроскопических ферромагнитных частиц, получила авторитетную поддержку редакции журнала «Успехи физических наук» как наиболее обоснованная [159]. Появились различные модификации этого механизма.

В работе О. И. Мартыновой с соавторами [161] предпринята попытка связать действие ферромагнитных частиц с их концентрацией в межполюсном пространстве. По мере прохождения воды, содержащей указанные частицы, последние образуют значительные скопления, которые и обуславливают все явления, отмечаемые при омагничивании водных систем (правда, в этой работе справедливо отмечено, что речь идет только об одном из возможных механизмов влияния магнитных аппаратов на процессы накипеобразования и коррозии).

Агломераты ферромагнитных частиц покрываются слоем карбоната кальция, который может также служить центром кристаллизации. Эти частицы «...сорбируют растворенный воздух на своей развитой поверхности. Именно в результате этого резко увеличивается интенсивность газовыделения в зазоре магнитного аппарата... Подход к магнитному аппарату как к своеобразному фильтру объясняет и то, почему результаты кратковременных лабораторных опытов не совпадают с промышленными: в последнем случае успевает накопиться «борода» из ферромагнитных частиц».

Нетрудно заметить, что и этой гипотезе свойственны почти все противоречия, перечисленные выше при анализе роли коагуляции ферромагнитных частиц. Если бы магнитные аппараты были только своеобразными магнитными фильтрами, то куда проще было бы пропускать воду через слой намагниченного порошка. Мы пробовали это делать и особых преимуществ не отметили. К тому же нельзя продолжать абстрагироваться от влияния на водные системы очень слабых полей, совершенно неспособных образовывать скопление ферромагнитных частиц. А какие ферромагнитные частицы могут быть при магнитной обработке фосфорной кислоты, уменьшающей отложения фосфогипса? Есть и другие данные о влиянии магнитных молей на кислые водные растворы. На рис. 57 приведены данные В. Е. Терновцева о влиянии магнитной обработки растворов серной кислоты на изменение размеров кристаллов гипса. В кислой среде ферромагнитные коллоидные частицы отсутствуют

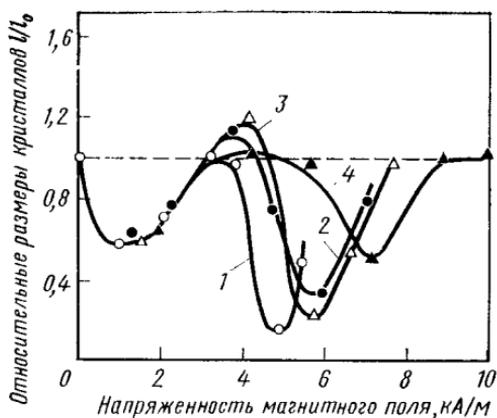


Рис. 57. Влияние обработки кислых растворов магнитным полем разной напряженности на относительные размеры кристаллов гипса:

1 — концентрация серной кислоты, 0,5 г/л; 2 — 1,0 г/л; 3 — 1,5 г/л; 4 — 2,8 г/л.

(растворяются в ней), а изменения обнаруживаются.

М. Л. Михельсон [37, с. 3—62] термодинамическими расчетами показал, что магнитные поля могут активировать коллоидные центры кристаллизации. Это влияет на кинетику роста кристаллов солей жесткости на намагниченных частицах магнетита. Представляется возможным обосновать полиэкстремальную зависимость эффекта воздействия от напряженности магнитного поля и экстремальную — от скорости потока (это подтверждено расчетами на ЭЦВМ). Дальнейшие опыты показали, что при одинаковом химическом составе раствора бикарбоната кальция после магнитной обработки кристаллизация на частицах магнетита происходит со значительно большей скоростью, чем на таких же частицах кальцита [24, с. 159—161]. Еще предстоит выяснить и роль заряженных микрочастиц немагнитных примесей.

Следует подчеркнуть, что во всех случаях при обсуждении результатов опытов, проводимых с добавками растворов солей железа или тонкого порошка магнетита, не учитываются два важных обстоятельства: 1) вместе с указанными примесями в воду неизбежно вводятся ионы железа и другие ионы, поэтому существенно изменяется ионный состав среды и 2) вокруг намагниченных ферро- и парамагнитных частиц образуются магнитные поля, которые могут существенно влиять на близлежащую воду.

Рассматривая все существующие гипотезы о механизме действия магнитных полей на водные системы, можно прийти к следующим выводам. При воздействии магнитных полей на водные системы возникает комплекс явлений, сложных самих по себе и во много раз взаимноусложняющихся. Все гипотезы (за исключением гипотез об изменениях абсолютно чистой воды) имеют определенное экспериментальное обоснование и в той или иной мере соответствуют практическому опыту. Вместе с тем, не все гипотезы позволяют полностью объяснить разнообразные накопленные сведения. Положение дополнительно усложняется тем, что многие факторы, казалось бы обязательные для реализации магнитной обработки, иногда могут отсутствовать или быть ослабленными, а эффекты все же наблюдаются.

В этой сложной обстановке единственно правильным является анализ гипотез с выявлением основной причины с позиций диалектического материализма, согласно которым главной является *причина, всегда существующая и всегда действующая определенным образом*. В отдельных частных случаях другие причины могут оказывать более сильное действие. Но они не являются главными вследствие своей необязательности. Тогда придется признать вероятность того, что *главной* причиной может быть изменение структуры водной системы, а все остальные факторы лишь усиливают, стабилизируют и пролангируют эти изменения. Основным же подлежащим теоретическому выяснению является *способ преодоления потенциального барьера между двумя метастабильными состояниями системы*, а также сообщение ей достаточной энергии активации и механизм пролангирования этих кратковременных изменений.

Если сопоставить современное состояние теории омагничивания водных систем с состоянием в период теоретических запретов, то можно сказать, что теперь решение проблемы рисуется в ином свете. Полезно вспомнить популярную в прошлом работу [162], в которой с учетом мнений ряда теоретиков дается своеобразная оценка проблеме. В этой работе приводятся соображения о невозможности изменения идеально чистой воды магнитной обработкой. Однако в ней несколько раз под-

черкивается, что все эти соображения справедливы для воды как равновесной системы: «... единственное допущение о наличии термодинамического равновесия в текущей воде при малых скоростях течения можно считать ненарушенным». Сейчас мы знаем, что такое допущение не может считаться обоснованным. Даже в работе [162] говорится: «Что же касается воды, содержащей примеси, то здесь ситуация становится менее определенной».

Однако «...представляется весьма маловероятным обнаружить реальный эффект магнитной обработки воды» (содержащей примеси, *В. Классен*). Все сведения, приведенные в этой книге, свидетельствуют об ошибочности такого прогноза, не выдержавшего испытания временем.

Нельзя отрицать, что заметное изменение некоторых свойств водных систем происходит при воздействии очень слабых электромагнитных полей (сопоставимых с размерами геомагнитного поля) и что энергия теплового движения на много порядков превосходит энергию, сообщаемую диамагнитной водной системе обычным путем.

Весьма перспективным представляется изучение резонансных взаимодействий, о которых говорилось в начале этой главы; это направление должно быть предметом фундаментальных исследований.

Для создания общей теории представляют интерес наряду с резонансными магнитогидродинамические явления, а также поведение растворенных газов (важным направлением является выяснение роли дегазации водных систем), роль несущих электрические заряды микрогетерогенных примесей и процессов, происходящих на их поверхности, поведение противоионов, действие индуцированных токов и другие явления, рассмотренные выше. Их никак нельзя не учитывать.

В качестве стабилизаторов эффектов, обуславливающих «память» водных систем на электромагнитную обработку, прежде всего, привлекают внимание медленные диффузионные процессы, фазовые переходы (растворение, выделение из растворов и агрегация различных примесей), а также структурные перестройки воды, связанные с указанными процессами.

## АППАРАТЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ ВОДНЫХ СИСТЕМ

Большой практический интерес к электромагнитной обработке водных систем, с одной стороны, и незавершенность теоретических основ процесса, с другой, обусловили появление различных (более семидесяти) вариантов конструкций аппаратов для ее осуществления. Лишь некоторые аппараты были выпущены серийно. Эффективность промышленного применения этих аппаратов редко сопоставлялась; в первом приближении были выявлены некоторые принципы их эксплуатации.

В монографиях, посвященных электромагнитной обработке водных систем, имеются специальные разделы, в которых дается расчет аппаратов [40, 70, 178]. Однако общим недостатком всех расчетов является то обстоятельство, что они построены на априорных характеристиках магнитных полей и гидродинамики потоков, которые еще недостаточно изучены. Другими словами, главные характеристики аппаратов недостаточно обоснованы. Как показано выше, результаты обработки в общем случае не имеют простой однозначной зависимости от средней напряженности магнитного поля, его градиента, величины пондеромоторной силы. Между тем, в указанных расчетах вынужденно и априори постулируются именно такие однозначные зависимости, исходя из которых выполняются детальные расчеты аппаратов — гидродинамический (по заданной производительности) и электротехнический (с определением коэффициента использования магнитного потока, характеристик электромагнитных катушек, магнитной индукции в зазоре и др.)

В последнем случае расчеты электромагнитных систем разных аппаратов принципиально не отличаются один от другого. Так, методика расчета аппаратов для послышной обработки воды, разработанная московским заводом «Котлоочистка», основана на данных Б. П. Татарина, а методика расчета аппаратов с постоянными магнитами — на данных Г. И. Анофриева и А. М. Крапивина. Безусловно, все эти расчеты нуждаются в доработке, поэтому ниже приведены лишь сведения об основных конструкциях аппаратов и принципах их эксплуатации. Здесь, естественно, не описано огромное число вариантов конструкций, предложенных отдельными авторами, но изготовленные в единичных случаях.

### 1. АППАРАТЫ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Аппараты для омагничивания водных систем с постоянными магнитами имеют определенные преимущества и недостатки. К первым относятся сравнительная простота конструкции, отсутствие необходимости в электропро-

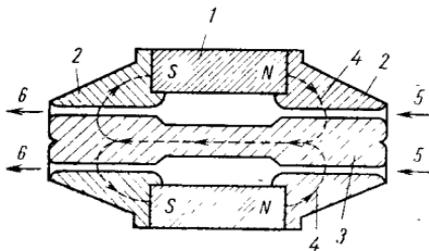


Рис. 58. Схема аппарата ВТИ-2:

1 — постоянный магнит; 2 — полюсные наконечники; 3 — сердечник; 4 — силовые линии; 5, 6 — вход и выход воды.

водке, возможность применения во взрывоопасных местах. Основным недостатком таких аппаратов является отсутствие возможности оперативного регулирования напряженности магнитного поля (впрочем, принципиально можно сконструировать аппараты, позволяющие это делать).

Коэрцитивная сила постоянных магнитов зависит от их состава. Для магнитных аппаратов применяют постоянные магниты из различных магнитожестьких сплавов — феррито-бариевые (например марки ЗБА), ЮНДК-24 и другие (гораздо более дорогие). Интересное сопоставление магнитов из указанных сплавов сделано Ю. В. Мягковым в работе [78].

Феррито-бариевые магниты по коэффициенту отдачи магнитной энергии во внешнюю цепь уступают магнитам из сплава ЮНДК-24, но они значительно дешевле последних и их удельная масса меньше. Остаточная индукция магнитов ЗБА в три с лишним раза ниже, чем ЮНДК-24, но коэрцитивная сила во столько же раз больше. Все это отражается на геометрических размерах магнитов.

Феррито-бариевые магниты обычно имеют небольшую высоту и относительно большую площадь поперечного сечения. В аппаратах, оснащенных этими магнитами, площадь магнитного потока в рабочем зазоре приходится сильно ограничивать — она не должна превышать площади самого магнита. Чтобы магниты обладали оптимальной отдачей, надо располагать рабочие зазоры по концам магнита и, по возможности, обходиться без полюсных наконечников, при которых возрастают потоки рассеяния. В магнитах же из сплава ЮНДК-24 можно принимать площадь магнитного потока в рабочих зазорах в 2—4 раза больше площади самого магнита, но приходится ограничивать рабочий зазор.

Рис. 59. Аппарат ПМУ-1 завода им. Войкова:

1 — верхняя крышка; 2, 8 — болты с гайкой; 3 — отверстие в дне стакана; 4 — прокладка; 5 — чугунный стакан (магнитопровод); 6 — постоянный магнит; 7, 9 — полюсные наконечники; 10 — нижняя крышка.

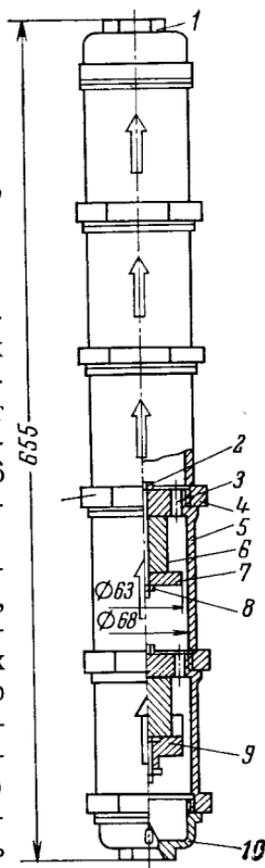
Аппараты, сконструированные во Всесоюзном теплотехническом институте, оснащены постоянными кольцевыми магнитами, изготовленными из сплава магнико (ВТИ-1) или из сплава АЛНИ (ВТИ-2). Внутри кольцевых магнитов помещены сердечники из железа армко, их диаметр определяет величину зазора и, следовательно, напряженность поля (примерно 79,6 кА/м). В этом аппарате поток жидкости пересекает два поля (рис. 58).

Аппараты ПМУ-1, серийно выпускаемые только заводом им. Войкова, состоят из трех-пяти однотипных, последовательно соединенных чугунных секций (рис. 59). Кольцевой зазор между постоянными магнитами и корпусом составляет 2,5 мм. Напряженность магнитного поля (максимальная) в первой секции 87,6 кА/м, в остальных четырех по 143 кА/м. Скорость воды 1—2 м/с, производительность 2—7 м<sup>3</sup>/ч. Стоимость одного аппарата 26 руб.

В дальнейшем аппараты ПМУ-1 претерпели ряд изменений: число секций сокращено с 5 до 3; изменено расположение магнитов и др. Эти изменения обусловлены, как правило, стремлением сократить расход магнитных материалов.

Динамика выпуска аппаратов заводом им. Войкова стремительно росла. В последние 5 лет выпуск аппаратов стабилизировался на уровне 40—45 тыс. в год (рис. 60). Но этот уровень определяется не потребностью в аппаратах (она превышает 350 тыс. в год), а наличием магнитных материалов.

На рис. 61 показан аппарат Новочеркасского завода постоянных магнитов производительностью 100 м<sup>3</sup>/ч.



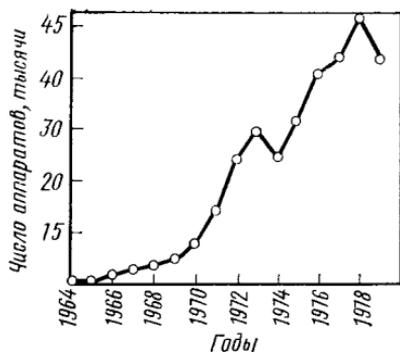


Рис. 60. Динамика выпуска аппаратов ПМУ-1 заводом им. Войкова за 1964—1979 гг.

Напряженность магнитного поля в зазоре составляет примерно 119 кА/м; скорость потока воды 2 м/с.

Бельгийская фирма «Эпюро» в течение нескольких десятилетий выпускает аппараты «Сери» (по патен-

ту Т. Вермайрена), оснащенные постоянными магнитами, производительностью от 0,03 до 36000 м<sup>3</sup>/ч. В США аналогичные аппараты выпускает фирма «Паккард», в Англии — фирма «Поляр». В литературе обычно приводится лишь внешний вид этих аппаратов и не дается описания их конструкции. Лишь в последние годы появились фотографии вскрытых крупных аппаратов «Сери» (рис. 62), из которых видно, что обрабатываемая вода протекает через узкие щелевые зазоры между цилиндрическими и кольцевыми постоянными магнитами (рис. 63). Корпуса аппаратов изготавливают из металла, а также из синтетических материалов. Конструкцию аппаратов «Сери» следует рассмотреть подробнее, поскольку принцип их работы может стать основой для суждения о механизме магнитной обработки и способах оптимизации процесса.

Единственным устройством, запатентованным 12 октября 1966 г. Т. Вермайреном в Советском Союзе (патент № 288683), является «...устройство для обработки

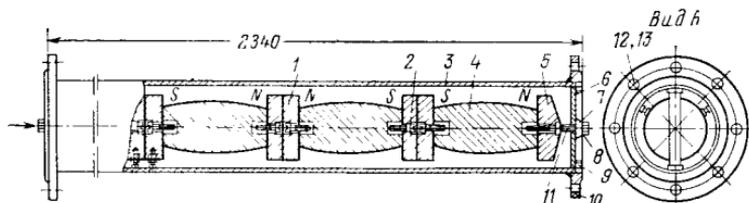


Рис. 61. Аппарат для магнитной обработки воды Новочеркасского завода постоянных магнитов:

1, 5 — полюсные наконечники; 2 — винт; 3 — трубка; 4 — магнит; 6 — траверса; 7 — бобышка; 8 — шайба пружинная; 9 — сухарь; 10 — фланец; 11 — болт; 12, 13 — установочный винт с гайкой.

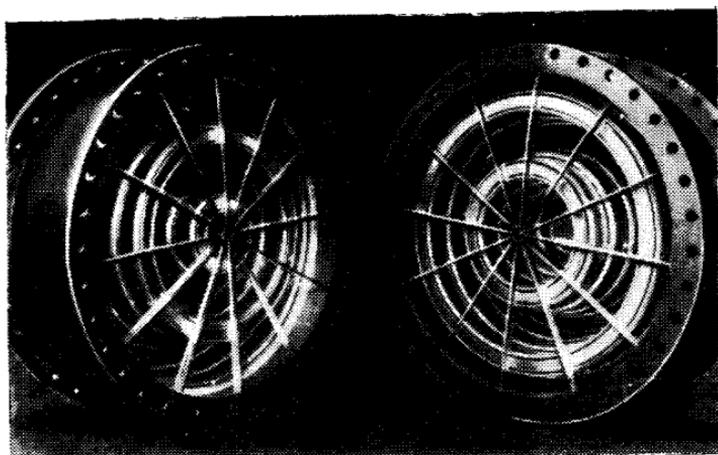


Рис. 62. Вид аппарата «Сери» типа Т-56 производительностью до 36 тыс. м<sup>3</sup>/ч.

жидкости с помощью магнитного поля, представляющее собой канал, стенки которого образованы магнитами, создающими поперечное магнитное поле, отличающееся тем, что с целью повышения эффективности обработки жидкости рабочий участок канала выполнен из продольных постоянных магнитов, каждый из которых имеет в центре выступ, представляющий собой полюс противоположного знака полюсу концов, а полюса расположенных один против другого выступов имеют различные знаки». В тексте патента подчеркивается необходимость турбулизации потока в межполюсном пространстве, о которой сказано в главе II.

На рис. 64 приведен разрез аппарата «Сери» невысокой производительности, реализующий указанный патент. Результаты измерения напряженности поля по длине этого аппарата\*, проведенного в нашей лаборатории, показали, что она изменяется: примерно на одной трети расстояния от концов аппарата знак полюсов меняется; в области сужения, образуемого магнитами, напряженность поля резко возрастает (до 320 кА/м). Следовательно, в этом аппарате поток воды проходит поля переменной полярности, а также область с очень высоким

\* Аппарат был любезно представлен нам для исследования Т. Вермайреном.

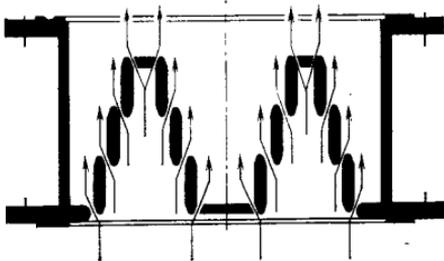


Рис. 63. Схема движения воды в высокопроизводительном аппарате «Сері» типа Т-56.

градиентом напряженности. Кроме того, в этом узком канале в соответствии с законами гидродинамики возникает резкий перепад давлений.

Выпускаются аппараты двух типов: аппараты типа W предназначены для обработки воды с содержанием солей до 2000 мг/л, аппараты типа А — для обработки более концентрированных и агрессивных растворов (аммиачных растворов, щелочей, кислотных и бисульфитных щелоков, растворов сахара, вин и др.).

В азотной промышленности получили довольно широкое применение аппараты конструкции Государственного института азотной промышленности (ГИАП), сконструированные П. П. Андреевичем и др.

Аппарат (рис. 65) представляет собой вертикальный цилиндрический сосуд, состоящий из корпуса 1, штуцеров 3 и 9 для выхода и входа воды. Внутри корпуса расположена магнитная насадка, представляющая систему блоков 4 из постоянных магнитов в форме колец с зазорами между ними. Между блоками находятся перегородки 5 и канал 6, образованный магнитами; через отверстие перегородки он сообщается с кольцевой полостью 7. Перегородки 5 перекрывают центральный канал 8 и образуют с корпусом 1 щелевые зазоры. К перегородкам ниже щелевого зазора прикреплены конусные козырьки 2 с прорезями и лопастями для динамического воздействия на поток воды.

Рис. 64. Размер небольшого аппарата «Сері» типа АД 1/2 и эпюра изменения напряженности магнитного поля по его длине.

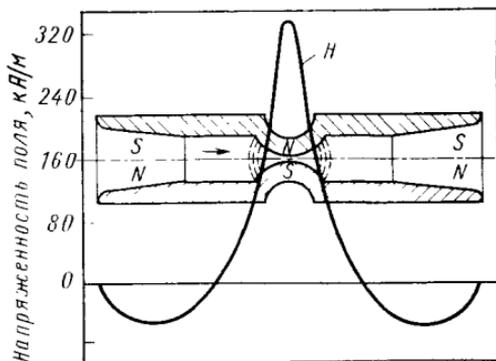


Рис. 65. Аппарат конструкции ГИАП.

Аппарат работает следующим образом: вода поступает по штуцеру 9 и проходит снизу вверх, омывая систему блоков 4 и перегородки 5, многократно изменяя направления: в аксиальном направлении — по кольцевой полости 7 и центральному каналу 8, а в радиальном направлении от периферии к центру и в противоположном направлении по зазорам между магнитными шайбами последующего блока. В момент прохождения потока воды через щелевые зазоры и по зазорам между магнитами вода подвергается воздействию магнитных полей. Омагниченная вода выходит из аппарата по штуцеру 3. В аппаратах используются ферритобариевые магниты наружным диаметром 85 мм и внутренним 32 мм (толщина 11 мм) и диаметрами 61 и 24 мм (толщина 9—13 мм).

На ряде предприятий азотной промышленности (Севородонецкое производственное объединение «Азот», Ионавское производственное объединение «Азот», Новомосковское производственное объединение «Азот», Чирчикское производственное объединение «Электрохимпром» и др.) успешно эксплуатируются аппараты пропускной способностью 20, 300 и 500 м<sup>3</sup>/ч. Характеристика аппаратов конструкции ГИАП, установленных на различных предприятиях, приведена в табл. 12.

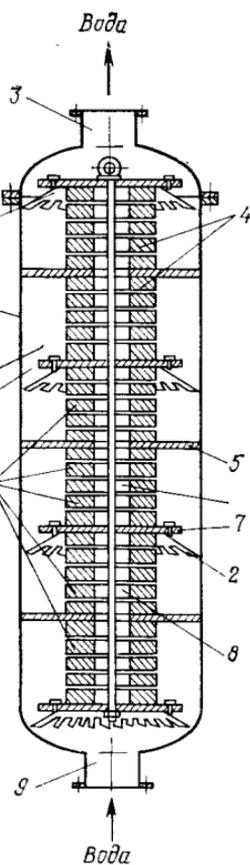


Таблица 12. Характеристики магнитных аппаратов ГИАП

Производственное объединение «Азот»	Пропускная способность, м <sup>3</sup> /ч	Размеры, м		Напряженность магнитного поля, кА/м	
		диаметр корпуса	высота	аксиальный поток воды	радиальный поток воды
Севородонецкое	500	0,72	2,2	36—72	140—176
Ионавское	300	0,52	1,7	52—120	144—168
»	500	0,72	2,2	44—84	120—152
Новомосковское	300	0,52	1,7	54—126	142—170
»	500	0,72	2,2	46—82	138—176

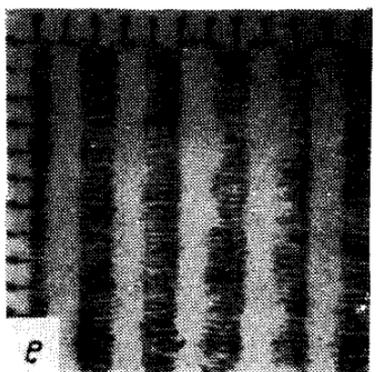
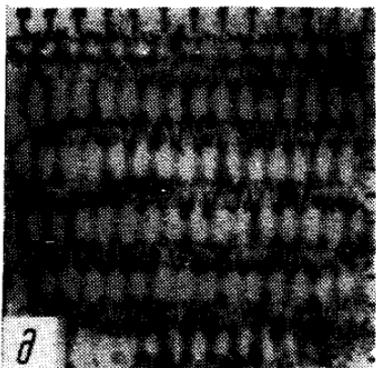
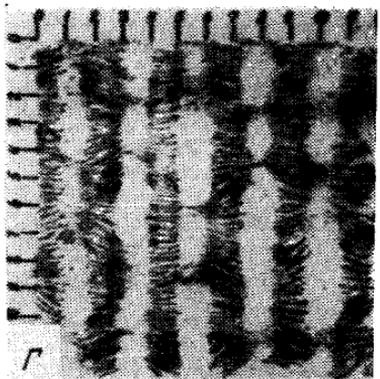
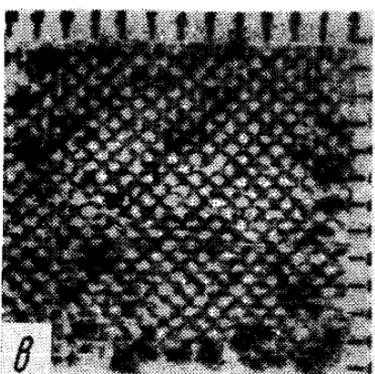
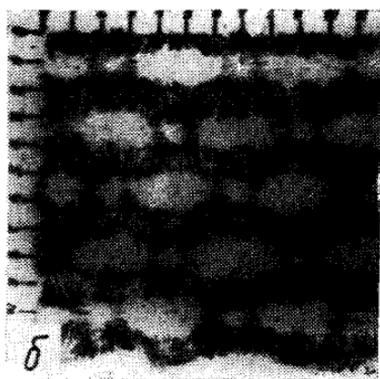
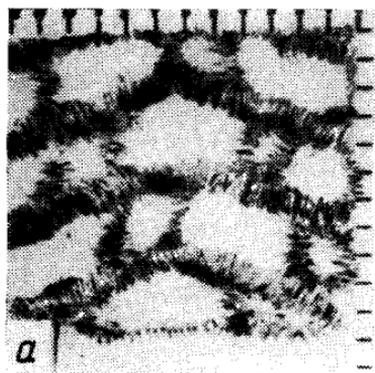


Рис. 66. Топография магнитных полей магнитофоров, проявленных железными опилками (а—е — типы магнитофоров).

Своеобразной интересной разновидностью аппаратов для магнитной обработки водных систем с помощью постоянных магнитов являются так называемые *магнитофоры*, изобретенные А. С. Фефером\*. Их изготавливают из смеси полимерных или минеральных вяжущих веществ (каучука, смолы, цемента и др.) и порошкообразных магнитных наполнителей (металлических или оксидных сплавов). Из этой смеси формуют изделия необходимых форм и размеров. Затем изделия намагничивают в особых режимах, после чего на их поверхности образуются своеобразные «магнитные узоры», примеры которых приведены на рис. 66. Из рисунка видно, что в этом случае создаются микроградиентные поля. Их напряженность на поверхности магнитофора имеет порядок 15 кА/м и быстро убывает с удалением от поверхности. Поэтому магнитофоры предназначены для обработки относительно тонких (до 1 см) слоев водных систем. Они весьма эффективны при лечении многих заболеваний (применяются обычно в виде аппликаций) и при магнитной обработке небольших количеств воды. В последнем случае магнитофоры имеют форму трубки. Уже начат массовый выпуск магнитофоров на Рыбинском электротехническом заводе.

## 2. АППАРАТЫ С ЭЛЕКТРОМАГНИТАМИ

В аппаратах этого типа электромагниты могут быть расположены внутри корпуса или вне его (последнее предпочтительнее). Примером аппаратов с внутренним расположением электромагнитов является *конструкция Алмаатинского завода тяжелого машиностроения* (рис. 67).

Электромагниты этих аппаратов состоят из стального стержня с шестью кольцевыми пазами, в которых размещена обмотка из провода ПЭЛ-1 диаметром 0,37 мм, ток — постоянный; после селенового выпрямителя напряжение составляет 100 В, сила тока 0,5 А. Напряженность магнитного поля достигает 200 кА/м. Кожух с электромагнитом заполнен трансформаторным маслом. Вода проходит семь магнитных полей со скоростью 2 м/с. Производительность аппарата 25 м<sup>3</sup>/ч; стоимость около 300 руб.

Аналогичные аппараты несерийно выпускает Копейский рудоремонтный завод и некоторые другие пред-

---

\* Авт. свид. СССР 445438, 649441, 649442.

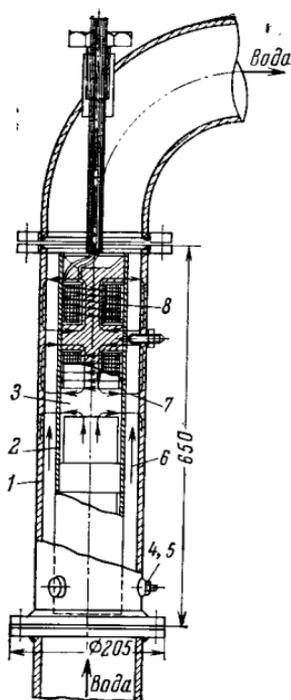


Рис. 67. Аппарат типа ЛЗТМ:

1 — корпус из диамагнитного материала; 2 — кожух; 3 — электромагнит; 4, 5 — стопорный винт с гайкой; 6 — направление движения воды; 7 — направление магнитных силовых линий; 8 — направление тока в катушке.

приятая. Сходную конструкцию имеют аппараты Харьковского инженерно-экономического института (рис. 68, а).

На рис. 68, б показан аппарат конструкции также Харьковского инженерно-экономического института, но с наружным расположением катушек электромагнитов. Характеристика этих аппаратов приведена в табл. 13.

На Чебоксарском ремонтно-механическом заводе «Энергозапчасть» выпускают аппараты, разработанные Всесоюзным теплотехническим институтом (рис.

69). Перед этим опытные образцы были испытаны на ряде ТЭЦ (котельных, в производстве бетона и др.

Таблица 13. Характеристика аппаратов с внешним расположением электромагнитов с напряженностью поля 96 кА/м (конструкция Харьковского инженерно-экономического института)

Показатели	Тип аппарата								проектируются
	П-02	П-06	П-08	П-10	П-16	П-30	П-50	П-100	
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	2	6	8	10	16	30	50	100	14400
Длина, м	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,2	1,5	
Число катушек	6	6	6	6	6	6	6	6	44
Число ампервитков	1260	1800	2300	2500	3100	3650	4200	6920	15340
Общая длина пути воды в магнитном поле, см	30	31	35	35	30	340	350	300	
Удельный расход электроэнергии, Вт/м <sup>3</sup>	35	17	17	18	13	10	7	6	3

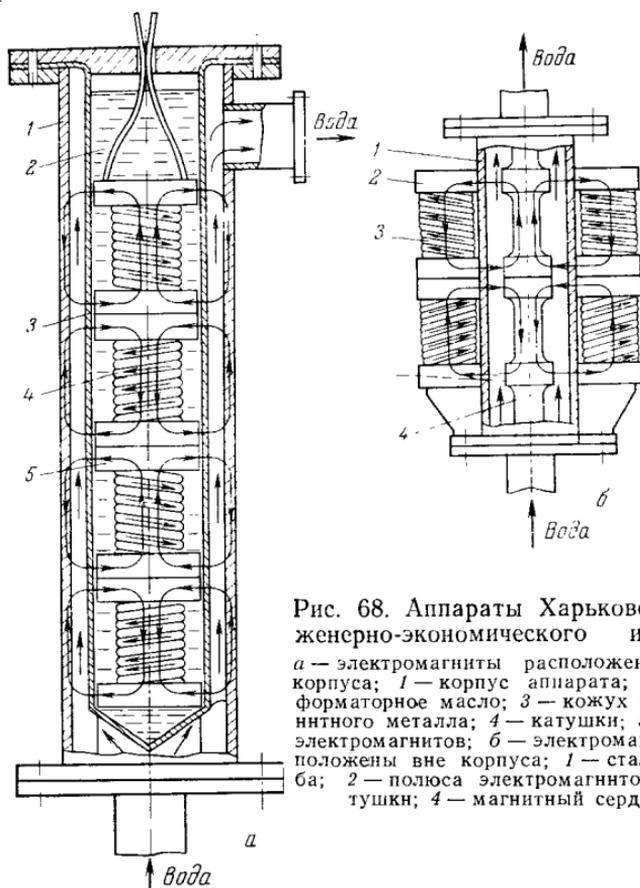


Рис. 68. Аппараты Харьковского инженерно-экономического института:

*а* — электромагниты расположены внутри корпуса; 1 — корпус аппарата; 2 — трансформаторное масло; 3 — кожух из диамагнитного металла; 4 — катушки; 5 — полюса электромагнитов; *б* — электромагниты расположены вне корпуса; 1 — стальная труба; 2 — полюса электромагнитов; 3 — катушки; 4 — магнитный сердечник.

Электромагниты питаются постоянным током, выпрямитель имеет устройство для регулирования напряженности магнитного поля. Электромагнитные катушки защищены от воды диамагнитной рубашкой. Для охлаждения и изоляции катушек в защитную рубашку заливают трансформаторное масло. Производительность аппарата по воде 25 м<sup>3</sup>/ч; напряжение питания постоянного тока до 64 В, максимальная напряженность магнитного поля в рабочем зазоре 280 кА/м; количество масла 213 кг.

В последнее время завод ежегодно выпускает до 5 тыс. таких аппаратов. Интересно отметить, что опыты показали возможность использования лишь одной электромагнитной катушки. В 1980 г. завод (по сообщению его директора М. Т. Трофимова) выпустил 100 аппаратов АМО-200 производительностью 200 м<sup>3</sup>/ч, имеющих

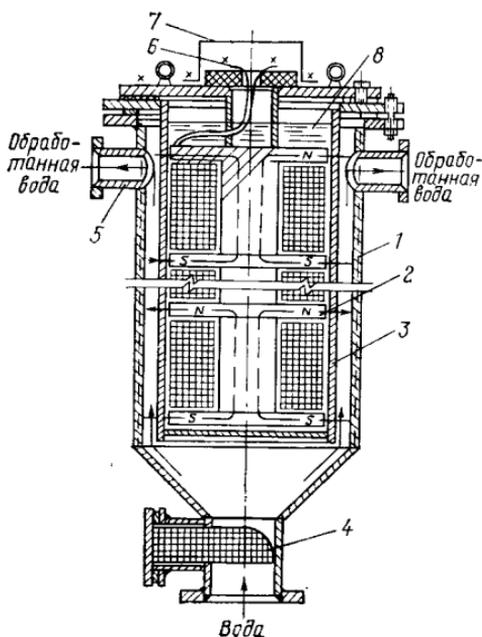


Рис. 69. Аппарат Чебоксарского завода «Энергозапчасть»:

1 — корпус (наружный магнитопровод); 2 — kern (внутренний магнитопровод); 3 — рубашка из немагнитного материала; 4 — съемочная сетка (фильтр); 5 — патрубок; 6 — клеммы; 7 — крышка; 8 — трансформаторное масло.

более совершенную конструкцию. Их промышленные испытания (например, на ТЭЦ-5 «Саратовэнерго») дали вполне положительные результаты: после 5 месяцев работы сетевых подогревателей турбины Т-100/120 отложений накипи не

обнаружено. Каждый аппарат дает годовой экономический эффект более 7000 р. [250, с. 42].

В 1981 г. планируется выпуск трех аппаратов производительностью 14 тыс. м<sup>3</sup> воды в час. Опытный образец такого аппарата, испытанный на Заинской ГРЭС для обработки воды, охлаждающей конденсаторы турбин, дал 80 тыс. руб. годовой экономии.

На рис. 70 показан аппарат с послойной обработкой воды Ростовского института инженеров железнодорожного транспорта (РИИЖТ).

В аппарате этого типа вода проходит через кольцевые щели. Аппарат состоит из двух внешних отрезков трубы, между которыми концентрически расположены кольца из магнитомягкого железа, составляющие левую и правую кольцевые системы, смещенные одна относительно другой. Эти кольца намагничиваются внешней катушкой. Магнитный поток по левой и правой системам распределяется при помощи основных магнитопроводов и коротких вставок между кольцами. Зазоры между кольцами левой и правой магнитных систем уменьшаются от периферии к центру; этим достигается равенство средних напряженностей магнитного поля во всех зазорах. Но поле в зазорах неоднородное. На рис. 71 приведены значения напряженности в отдельных точках зазора аппарата этого типа, изготовленного заводом «Котлоочистка».

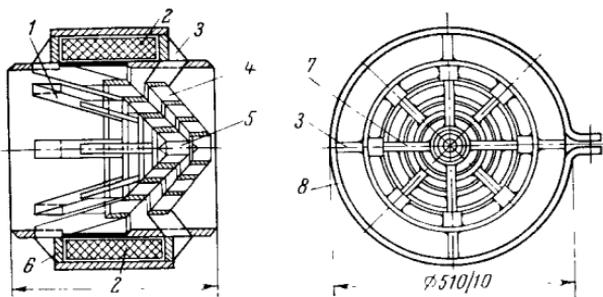


Рис. 70. Аппарат для «послойной» магнитной обработки воды производительностью 400 м<sup>3</sup>/ч конструкции РИИЖТ:

1 — левая полярная система; 2 — намагничивающая катушка; 3 — косынка; 4 — правая полярная система; 5 — центральный конус; 6 — диамагнитная обечайка; 7 — магнитопроводы — вставки; 8 — хомут — магнитопровод.

*Аппарат типа АМО*, разработанный институтом «Гипромашобогашение» на основе наших данных, представляет собой диамагнитный желоб, расположенный между пятью С-образными электромагнитами (рис. 72). Питаются они постоянным (в некоторых случаях — переменным) током. Напряженность поля 64—160 кА/м, скорость потока (в зависимости от напора) 0,8—2,8 м/с; высота потока пульпы 80—100 мм, производительность аппаратов разных размеров 100—250 м<sup>3</sup>/ч. Аппараты этого типа предназначены для обработки суспензии (пульпы).

*Аппарат института «Казмеханобр»* представляет собой вертикальный цилиндр из диамагнитного материала, в который тангенциально поступает пульпа или вода (рис. 73). Цилиндр окружен соленоидом, питаемым постоянным, переменным или пульсирующим током. Аппарат предназначен для обработки воды и пульпы.

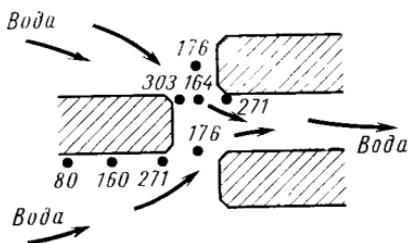


Рис. 71. Напряженность магнитного поля в зазорах магнитов аппарата (в кА/м).

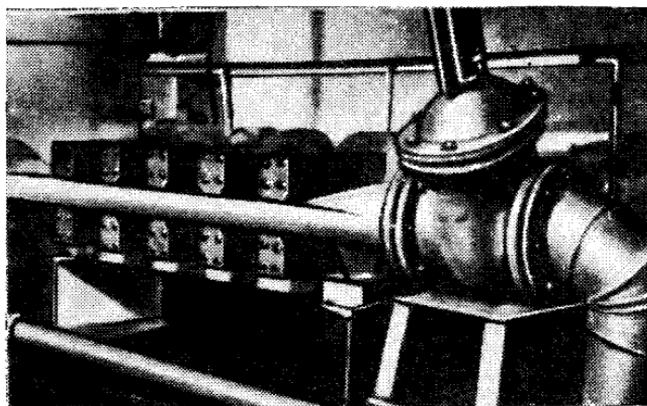


Рис. 72. Аппарата типа АМО для обработки пульпы.

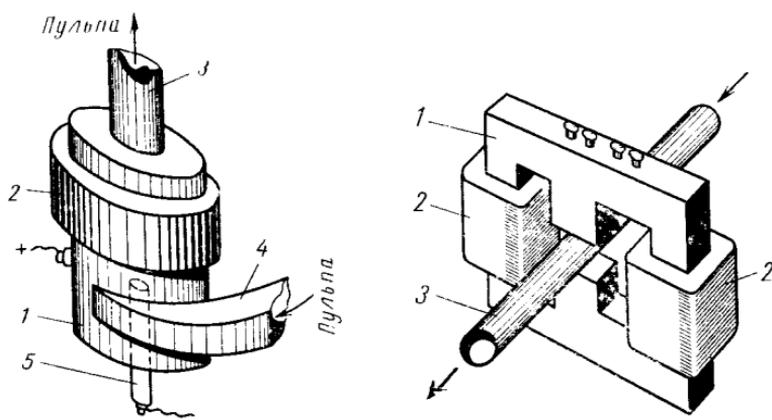


Рис. 73. Аппарат циклонного типа института «Казмеханобр»: 1 — цилиндрический корпус; 2 — катушка электромагнита; 3 — выходной патрубок; 4 — входной патрубок; 5 — стержневой электрод.

Рис. 74. Схема аппарата трансформаторного типа: 1 — ярмо; 2 — катушки; 3 — диамагнитная труба.

На рис. 74 показан *аппарат трансформаторного типа*, представляющий собой ярмо из магнитомягкого железа (чаще всего ярмо трансформатора) с соленоидами, на которые подается переменный ток разной частоты, подбираемой для каждого случая. Аппараты такого типа применяют чаще для лабораторных исследований.

### 3. СРАВНЕНИЕ АППАРАТОВ И ПРИЕМЫ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Конструирование, производство и эксплуатация аппаратов для магнитной обработки водных систем чрезвычайно затруднена тем, что отсутствуют научные основы этого процесса, доведенные до стадии инженерных расчетов и не проводятся четкие сравнительные испытания различных аппаратов для изучения влияния их конструктивных элементов на процесс омагничивания. Создание и изготовление аппаратов производится на основе качественных представлений о механизме явлений, практики эксплуатации аппаратов в Советском Союзе и за рубежом и иногда исходя из чисто интуитивных представлений.

При создании аппаратов учитывается необходимость разработки конструкций, которые, наряду с эффективным воздействием на водные системы, позволяют достигнуть высокого коэффициента использования магнитных источников, отличаются простотой и надежностью, по возможности могут быть изготовлены из малodeфицитных материалов и не создают больших потерь напора. От размера последнего фактора, характеризующего степень гидродинамического совершенства аппарата, зависит его производительность и в отдельных случаях возможность использования аппарата без реконструкции цехов.

Единственная попытка (как нам известно) серьезного анализа и сопоставления различных аппаратов была предпринята В. Я. Мягковым и Ю. В. Мягковым. Анализируя характеристики и эффективности применения примерно двадцати видов аппаратов, они пришли к следующим выводам:

а) почти во всех случаях рабочий зазор аппаратов лежит в пределах нескольких сантиметров. Чем выше производительность аппарата, тем, естественно, больше общая протяженность этих щелей;

б) как правило, стремятся к созданию высокой напряженности магнитного поля в рабочих зазорах;

в) обеспечивается минимальное гидравлическое сопротивление аппаратов (до 50 кПа);

г) наряду с многополюсными аппаратами, в которых обеспечивается сравнительно большое время пребыва-

ния обрабатываемой системы в поле, имеются и высокоэффективные униполярные аппараты (например, фирмы Эпуро);

д) почти всегда в рабочем зазоре существует большая скорость воды (от 3 до 8 м/с).

Поскольку сечение зазора, напряженность магнитного поля, скорость воды и время ее пребывания в поле взаимосвязаны, В. Я. и Ю. В. Мягковы попытались установить между ними определенную математическую зависимость. Они исходили из гипотезы, что при магнитной обработке растворов основную роль играют силы Лорентца, воздействующие на ионы. Тогда величина дрейфа ионов в водном растворе  $I_{др}$  определяется уравнением

$$I_{др} = \kappa \epsilon \tau$$

где  $\kappa$  — подвижность ионов в растворе (зависящая от их заряда, вязкости среды, ее диэлектрической проницаемости и др.);  $\epsilon$  — электродвижущая сила, индуцируемая силами Лорентца;  $\tau$  — время воздействия магнитного поля.

Заменяя  $\epsilon$  на векторное произведение  $\vec{v}B$ , получили

$$I_{др} = \kappa B v \tau$$

где  $v$  — скорость пересечения раствором магнитного поля;  $B$  — индукция магнитного поля.

Отсюда выводится значение «конструктивного модуля» магнитных аппаратов  $M$  ( $\kappa$  в данном случае не учитывается, поскольку она не зависит от конструкции аппарата):

$$M = B v \tau = B l_a$$

где  $l_a$  — расстояние, которое проходит раствор в магнитном поле.

Определив  $M$  для различных аппаратов, В. Я. и Ю. В. Мягковы обнаружили, что модули удивительно близки и в большинстве случаев находятся в пределах 10—15 мТ·м. Относительная стабильность  $M$  свидетельствует в пользу этой гипотезы. Но мы уже отметили, что повышение вероятности ассоциации противоионов зависит как от степени их сближения, так и от степени снижения устойчивости сольватных оболочек. Последнее может происходить и в случае небольших  $l_a$ , но при больших ускорениях движения ионов, а этот фактор пока не поддается количественной оценке.

При серийном выпуске аппаратов очень важно максимально сократить расход остродефицитных магнитных аппаратов и медного обмоточного провода. Это достигается уменьшением бесполезного рассеяния магнитной энергии, ее концентрацией в рабочем зазоре. Такая задача возможна только при определенных оптимальных параметрах внешней магнитной цепи, что реализуется не во всех конструкциях. Более детально этот вопрос освещен Ю. В. Мягковым в работе [78].

При дальнейшем совершенствовании конструкций следует уделить особое внимание оптимизации скорости и турбулентности потока жидкости в межполюсном пространстве, послойной ее обработке при наличии градиента давления в этом пространстве. Особого внимания заслуживает оптимизация временной и пространственной частот поля, индуцированию в нем электрического тока. В первом приближении можно считать, что чем меньше напряженность магнитного поля в рабочем зазоре, тем более длинным должен быть путь в нем жидкости. Заслуживает также внимания совместное действие магнитного поля и слабого электрического тока, подаваемого извне особенно в случае небольших значений индуцированного тока.

Чтобы экспериментально определить, в каком из аппаратов достигается лучшая обработка, необходимо сравнить результаты их работы в строго одинаковых условиях с различными водными системами. Однако такого рода исследования не проводились. Правда, в 1969 г. В. Е. Зеленков и Ю. К. Чернов в институте «Казмеханобр» провели испытания лабораторных аппаратов: трансформаторного многоконтурного (типа АМО) конструкции «Казмеханобр» и униполярного. Обработке подвергали алмаатинскую природную воду (рН 7,1—7,3) примерно одинакового состава, мг/л:

Mg <sup>2+</sup>	3,2	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	16,0
Ca <sup>2+</sup>	28,0	Cl <sup>-</sup>	12
Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	450	Fe	0,15
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	73,0		

В качестве основного параметра сравнения была выбрана величина изменения магнитной восприимчивости воды, измеряемая методом Квинке через 30 мин после обработки (обычно в этом случае эффект обработки был максимальным). Оценка изменения этого параметра носила статистический характер, при этом учитывались возможная систематическая (определяемая классом прибора) и вероятностная ошибки. Результаты опытов показали, что для одной и той же системы изменение магнитной восприимчивости в разных аппаратах было различным, %:

Трансформаторный	14
Конструкции «Казмеханобр»	11
Многоконтурный, типа АМО	13
Униполярный с зазором длиной, мм:	
5	5
1	0

Обобщая опыт эксплуатации аппаратов в промышленных условиях, можно составить следующие рекомендации, позволяющие получать устойчивые положительные результаты:

1) во всех случаях должна осуществляться предварительная настройка аппаратов. Работу аппарата необходимо систематически (не реже 1—2 раз в сутки) контролировать методом, моделирующим данный процесс (см. п. 4 этой главы);

2) расход воды, как и ее состав, должны быть максимально стабилизированы;

3) межполюсный канал должен быть заполнен водой с тем, чтобы исключить образование в нем воздушных пробок и застойных зон. Для этого необходимо подавать воду (или суспензию) в аппарат снизу вверх и периодически промывать канал. Для удаления от полюсов скоплений магнитных частиц аппаратурного железа необходимо систематически переключать полюса электромагнитов. Аппараты с постоянными магнитами нужно своевременно очищать;

4) в соответствии с рекомендациями фирмы «Эпюрекс», в воде, поступающей в аппараты, должны отсутствовать оксиды железа в коллоидной форме (!) и пузырьки газа, так как в противном случае эффективность применения аппарата «Сері» резко снижается.

#### 4. ИНДИКАЦИЯ ЭФФЕКТА ДЕЙСТВИЯ АППАРАТОВ

Для стабильного получения лучших практических результатов электромагнитной обработки водных систем, с учетом неизбежности изменения во времени различных условий, требуется непрерывный контроль эффективности действия аппарата. В идеальном случае необходима обратная связь между показанием датчика, установленного после аппарата, и устройством, автоматически регулирующим режим магнитной обработки (например, устройством, оптимизирующим напряженность магнитного поля). Не менее важна индикация эффекта магнитной обработки в исследованиях, а также в пусковой период промысленных аппаратов.

Решение всех этих важных вопросов связано с созданием точных, прочных и быстродействующих датчиков—индикаторов изменения свойств воды разного состава после магнитной обработки. Таких датчиков пока еще нет. Поэтому можно использовать описанные в гл. II методы оценки изменений гомо- и гетерогенных водных систем. Однако все они довольно сложны и требуют большой точности проведения опытов. Следует помнить,

что методы индикации не должны воздействовать на объект оценки и изменять свойства водной системы.

Обобщая имеющийся опыт исследований, можно рекомендовать для первоочередного применения следующие методы:

оптические — по изменению экстинкции света и дисимметрии его рассеяния, а также метод Тиндалля [250, с. 40];

кристаллохимические — с оценкой скорости возникновения кристаллов в обработанной воде и эталоне по светопоглощению, изменению отложений солей на стенках сосудов, а также на вводимых в сосуды стеклах и проволоках. Иногда при этом оценивают под микроскопом размеры и форму кристаллов;

коагуляционные — по кинетике оседания твердой дисперсной фазы в воде — золей оксихлорида висмута («тест Пиккарди»), тонкоизмельченного магнетита и др.;

радиоэлектронные и электрохимические — по изменению диэлектрической проницаемости воды, электрохимической поляризации электродов, вызываемой током низкой частоты (метод С. М. Ремпеля);

химические (по изменению скорости реакции, рН среды, цвета осадков бихромата калия из раствора уксуснокислого свинца и др.);

магнитометрические, их результативность и техника применения подробно описаны в соответствующей литературе [40, с. 41—46; 163; 13, с. 74—82; 24, с. 98—108].

Необходимо выяснить насколько универсальны эти методы, можно ли по изменению одного из свойств водной системы после электромагнитной обработки судить об обязательном изменении других ее свойств, и, тем более, о применении такой воды для различных процессов. Можно считать, что этот вопрос выяснен в самом первом приближении.

В. И. Зеленков и Ю. К. Чернов [13, с. 82—86] сопоставили оценки изменений свойств воды после магнитной обработки с помощью четырех различных показателей: магнитной восприимчивости, размеров образующихся кристаллов накипи, экстинкции света и частотно-зависимого компонента электрохимической поляризации электрода (рис. 75). Опыты проводили с алмаатинской водой, содержащей, мг/л:

Ca <sup>2+</sup>	48,1	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	219
Mg <sup>2+</sup>	0,7	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	43,6
Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	49,5	Cl <sup>-</sup>	9,9

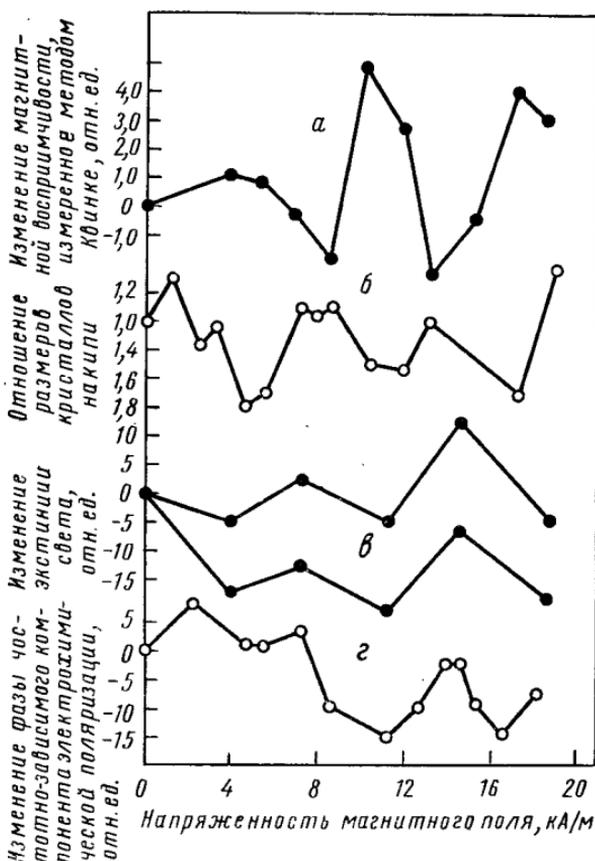


Рис. 75. Оценка изменения физико-химических свойств воды после обработки по изменению:

*a* — диамагнитной восприимчивости; *b* — размеров кристаллов накипи; *v* — экстинкции света; *z* — частотно-зависимого компонента электрохимической поляризации.

Отмечена хорошая воспроизводимость результатов опытов; каждой точке соответствовали данные не менее шести опытов. Экстремальные точки для большинства методов совпадали. Коэффициент корреляции лежал в пределах 0,6—0,8.

Некоторые предварительные опыты были проведены в нашей лаборатории Б. С. Ксенофонтовым. Магнитной обработке (при различных режимах) подвергали суспензию фосфоритной руды. Пробы брали перед пропусканием воды через промышленный аппарат АМО и после него. Производительность аппарата составляла 250 м<sup>3</sup>/ч. Измеряли скорость оседания и фильтрования суспензии; в фильтрате измеряли электрофоретический перенос белков. Опыты показали очень хорошую корреляцию экстремальных точек (рис. 76).

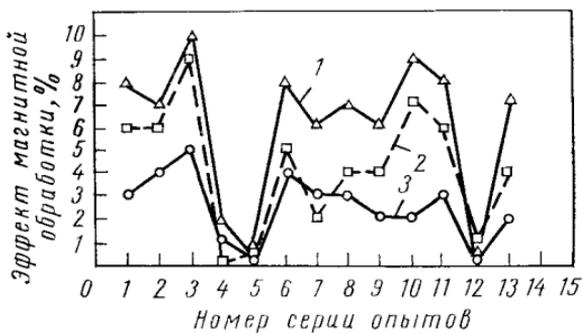


Рис. 76. Сопоставление изменений свойств водной системы (суспензии фосфоритной руды) после магнитной обработки по скорости: 1 — фильтрация; 2 — оседания; 3 — электрофоретического переноса белков.

Таким образом, пока можно считать, что между отдельными тестами существует определенная корреляция. Но этот вопрос подлежит дальнейшему исследованию.

При нынешней разработанности методов индикации магнитной обработки водных систем для практических целей лучше всего применять адекватные методы, моделирующие данный технологический процесс. Например, при регулировании промышленных аппаратов, установленных перед фильтрами, нужно одновременно отбирать пробы пульпы перед аппаратом и после него и в лабораторных воронках оценивать скорость фильтрации. Следует опытным путем подбирать напряженность поля, при которой достигается наибольшее увеличение скорости фильтрации. Точно также необходимо регулировать аппараты, установленные перед сгустителями; скорость оседания целесообразно определять в цилиндрах (лучше — в нефелометрах). Аппараты, установленные перед паровыми котлами, нужно регулировать по скорости выделения солей при кипячении проб воды; взятых перед поступлением ее в промышленные аппараты и после них.

Весьма перспективным представляется метод индикации магнитной обработки водных систем по скорости изменения рН и электропроводности раствора. При выделении из раствора солей жесткости эти показатели изменяются. Сопоставляя скорость снижения рН и из-

менения электропроводности, можно определить относительное приращение скорости кристаллизации  $\Delta v$  и по этому приращению судить об эффективности магнитной обработки водных систем. Относительное приращение скорости кристаллизации определяется по формуле

$$\Delta v = \frac{\operatorname{tg} \alpha' - \operatorname{tg} \alpha''}{\operatorname{tg} \alpha'} 100\%$$

где  $\alpha'$  и  $\alpha''$  — углы наклона линейных участков кинетических кривых кристаллизации в неомагниченной и омагниченной воде (соответственно).

Этот метод значительно усовершенствован К. А. Рубежанским и др. в Северодонецком филиале Государственного научно-исследовательского института азотной промышленности. Процесс был ускорен подщелачиванием растворов едким натром до рН 10. Результаты параллельных опытов, имеющих 95%-ную воспроизводимость, таковы:

а) относительное приращение скорости кристаллизации  $\Delta v$ , установленное при помощи рН-метрии при скоростях потока раствора в магнитном аппарате 16,6; 8,3; 4,15 и 1,38 см/с, составило соответственно 236, 412, 565 и 308%;

б) относительное приращение скорости, найденное кондуктометрическим методом при тех скоростях потока, составило 221, 433, 586 и 1007%.

*Глава V*

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОМАГНИЧИВАНИЯ ВОДНЫХ СИСТЕМ**

Известно много убедительных примеров эффективного применения омагничивания водных систем в различных отраслях промышленности: химической, горной, металлургической, строительных материалов, а также в сельском хозяйстве и медицине. Столь широкое применение этого метода иногда даже рассматривается как «довод» против достоверности публикуемых результатов. Между тем, главной причиной разнообразия областей приме-

ний омагниченной воды является ее важная, активная роль и беспрецедентно широкая распространенность в промышленных и биологических процессах.

В основе практического использования магнитной обработки водных систем, естественно, лежат описанные выше изменения физико-химических свойств гомогенных и гетерогенных водных систем после обработки. С этих позиций можно объяснить почти все практические результаты. В свою очередь, практика подтверждает изменение физико-химических свойств водных систем после такой обработки, что приводит к улучшению показателей технологических и биологических процессов.

В этой главе приведены примеры практического применения магнитной обработки водных систем, прошедшей в большинстве случаев промышленную апробацию или постоянно используемой в промышленности с официально подтвержденным, весьма значительным экономическим эффектом. Но ряд вопросов практического использования магнитной обработки водных систем исследован пока лишь в лабораторных условиях.

Мы столкнулись с трудностью выбора принципа группировки сведений — по процессам или по отраслям народного хозяйства. Поскольку один и тот же технологический процесс (например, образование накипи) актуален для многих отраслей, пришлось принять первый принцип. Область возможного применения омагничивания водных систем пока обозначена лишь в первом приближении и, несомненно, может быть значительно расширена.

## 1. ПРОИЗВОДСТВО БЕТОНА, ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ЦЕМЕНТА И ДРУГИХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ

### Твердение цементного камня

В нашей стране стали применять омагниченную воду для затвердения цемента и бетона в 1962 г.\*. С тех пор в этом направлении проведены значительные (хотя и недостаточно систематические) исследования, позволившие выявить перспективность метода.

Известно, что при твердении цементного камня одновременно протекает ряд сложных процессов: растворение и гидратация цементных минералов с образованием пе-

\* Нейман Б. А. Авт. свид. СССР № 237664, 1962.

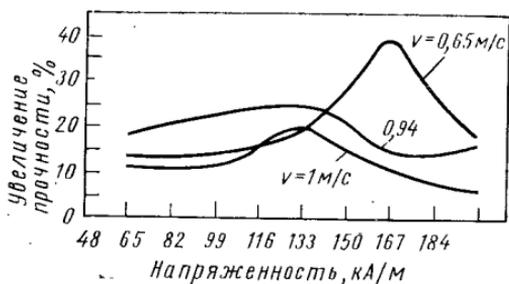


Рис. 77. Повышение прочности цементного камня при разных режимах магнитной обработки и различной скорости потока воды, предназначенной для затворения цемента.

ресыщенных растворов, самопроизвольное диспергирование этих минералов до частиц коллоидных размеров, образование тиксотропных коагуляционных структур и, наконец, возникновение, рост и упрочнение кристаллизационных структур. Как показано в гл. II, омагничивание воды влияет на все эти процессы. Следовательно, влияние магнитной обработки воды, используемой для растворения, на твердение и свойства цементного камня является вполне закономерным.

Наиболее последовательно этот вопрос экспериментально изучен В. А. Улазовским и С. А. Ананьиной [164]. Они проводили опыты в аппарате трансформаторного типа. Магнитной обработке подвергали волжскую воду с общей жесткостью 9,5 мг-экв/л и карбонатной 5,46 мг-экв/л, содержащую 72,9 мг/л оксида кальция, 18 мг/л оксида магния, 52 мг/л хлоридов, 64 мг/л сульфатов и 11,7 мг/л кислорода. В исследованиях использован портландцемент М 400 Вольского и Серебряковского заводов, из которого готовили кубики ( $2 \times 2 \times 2$  см) и балочки. Затем эти образцы подвергали физико-механическим испытаниям. Их обломки направляли на химический, микроскопический и рентгенографический анализ; структуру и состав гидратных новообразований исследовали в разбавленных цементных суспензиях.

Опытами установлено, что затворение цемента омагниченной водой приводит к значительному повышению прочности камня. Причем зависимость прочности от напряженности поля имеет экстремальный характер. Увеличение прочности зависит также от скорости потока воды (рис. 77). Влияние магнитной обработки воды, предназначенной для затворения цемента, на прочность камня при его длительном хранении в обычных температур-

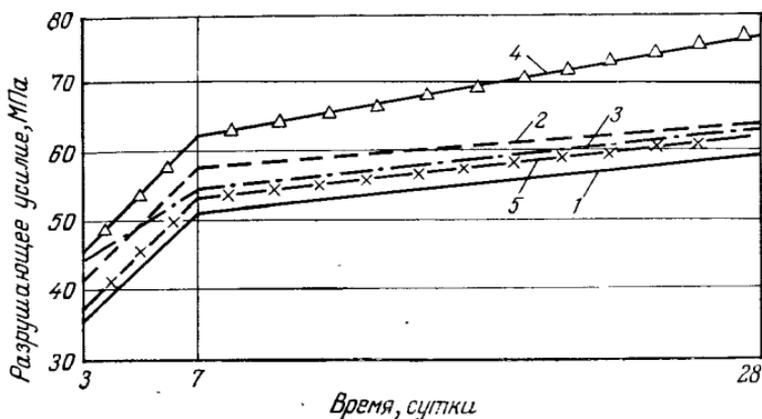


Рис. 78. Влияние омагничивания воды на рост прочности цементного камня:

1 — без магнитной обработки; 2—5 — после магнитной обработки воды при напряженности 117, 127, 139 и 167 кА/м.

но-влажностных условиях иллюстрируется кривыми на рис. 78. Данные рис. 78 свидетельствуют также о значительном ускорении твердения и увеличении конечной твердости. Это обусловлено ускорением нарастания пластической прочности камня, равной предельному напряжению сдвига, рассчитанному по глубине погружения металлического конуса в цементное тесто (рис. 79).

При затворении обычной водой имеется значительный индукционный период выкристаллизовывания цемента; в случае же затворения омагниченной водой пластическая прочность начинает активно расти почти сразу же после затворения. При этом отмечено более быстрое диспергирование частиц до микронных размеров.

Для изучения скорости гидратации цемента воспользовались методикой Ю. М. Бутта. Количество химически связанной воды определяли прокаливанием при 1000 °С, количество гидроксида кальция — фенолятным методом. Результаты опытов показали, что при использовании омагниченной воды цемент гидратируется значительно в большей степени (рис. 80), чем при использовании обычной воды, что способствует получению более плотной структуры камня. В омагниченной воде скорость образования осадка суспензии цемента значительно выше, чем в обычной воде. Микроскопические исследования также показали увеличение скорости гидратации в омаг-

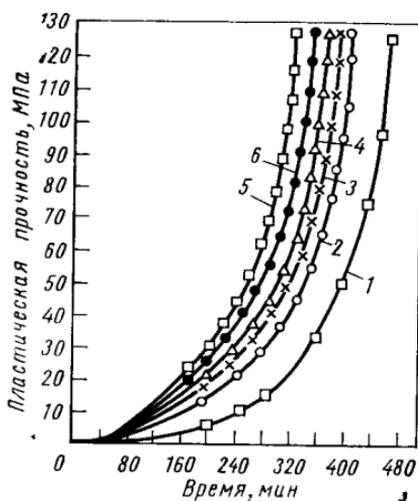


Рис. 79. Влияние омагничивания воды на рост пластической прочности цементного камня:

1 — без магнитной обработки воды; 2—5 — после обработки полями напряженностью 83, 117, 141 и 178 кА/м.

обычно, но и в объеме воды. Исследование цементного камня трехдневного возраста под электронным микроскопом показало, что в омагниченной воде структура камня гораздо более мелкозернистая (рис. 81).

Все указанные изменения цементного камня значительно влияют на его физико-механические свойства. Водостойкость, морозоустойчивость и химическая стойкость камня, изготовленного с применением омагниченной воды, значительно возрастают.

Описанные результаты влияния магнитной обработки воды, используемой для затворения, на процессы твердения цементного камня и его свойства совпадают с результатами исследований многих других авторов. Так, О. М. Мчедлов-Петросян, А. Н. Плугин и А. В. Ушеров-Маршак установили аналогичные закономерности твердения гипса [24, с. 187—189]. Близкие результаты

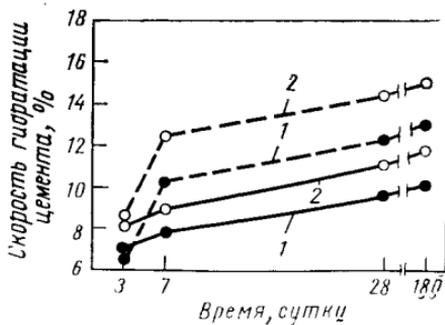


Рис. 80. Скорость гидратации цемента (сплошные линии — количество гидратной воды; штриховые — количество гидроксида кальция):

1 — контрольные образцы; 2 — образцы, приготовленные на омагниченной воде.

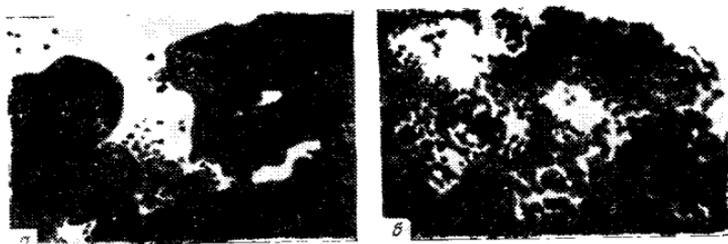


Рис. 81. Структура цементного камня трехдневного возраста под электронным микроскопом ( $\times 10\,000$ ):  
*a* — затворение обычной водой; *b* — затворение омагниченной водой.

получены с помощью электронного микроскопа Г. Д. Урываевой и М. И. Татаринцевой [24, с. 177—180], которые отмечают большое увеличение степени упорядоченности кристаллических новообразований в омагниченной воде.

В. А. Улазовский и В. А. Ананьина показали, что эффект магнитной обработки воды зависит от ее химического состава. Примеси ионов железа и хлоридов чаще всего оказывают положительное влияние; некоторые газы (остаточный хлор, аммиак) — отрицательное [24, с. 205—207]. Большую роль играют соли жесткости. Эти работы, по-видимому, являются началом дальнейших важных исследований.

Следует отметить некоторые опыты, касающиеся пластификации бетона, которая зависит от свойств цементного клея. Поскольку магнитная обработка влияет прежде всего на его свойства, в первую очередь должна изменяться степень пластификации бетона. Во многих работах, из которых следует выделить работу Д. С. Михановского, Я. Л. Арадовского и Э. Л. Леус [165], это показано достаточно убедительно. Межотраслевая комиссия, проведя в 1970 г. экспериментальную проверку, установила, что применение омагниченной воды позволяет снизить вибровязкость керамзитобетона. В подвижных смесях этот эффект не установлен.

Заслуживают внимания последние данные А. В. Ларина, С. Б. Трусова и Р. Д. Азелицкой, которые свидетельствуют о возможности значительной стабилизации положительного действия магнитной обработки воды при производстве бетона. Исходя из гипотезы о полезности образования коллоидных структур, авторы оптимизировали концентрацию в технической воде сульфатов магния и кальция, а также хлористого магния (соответственно 1,2, 1,2 и 2,8 г/л). В этом случае всегда получаются хорошие результаты [166].

Результаты, полученные при изучении влияния магнитной обработки на твердение гипса, мало отличаются от аналогичных результатов для цемента.

О. П. Мчедлов-Петросян, А. Н. Плугина и А. В. Уше-ров-Маршак методом дифференциальной калориметрии измеряли скорость твердения полуводного гипса ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$ ). Они отмечают ускорение образования центров кристаллизации после магнитной обработки воды, содержащей следы двухвалентного железа; однако его концентрация не должна превышать 0,6 мг/л. Линейная скорость роста кристаллов не изменяется. В итоге возникает более мелкокристаллическая структура [24, с. 187—188]. Это же подтверждено Ю. А. Качаловым и В. Г. Быховым [24, с. 211—212].

А. Т. Логвиненко и М. А. Савинкина проводили опыты с различными образцами полуводного гипса, золой уноса и шлаком. В обрабатываемой воде присутствовало двухвалентное железо (0,3—0,5 мг/л). Их опыты показали, что магнитная обработка воды, как правило, приводит к росту прочности образцов; для гипса наблюдается возрастание прочности во времени. Результаты исследования под электронным микроскопом показали, что в омагниченной воде образуются мелкокристаллические структуры, число мелких кристаллов значительно больше, чем в обычной воде [24, с. 180—185], что обуславливает высокопрочностные характеристики материала [13, с. 223].

Отмечено значительное влияние магнитной обработки воды на процесс гашения извести. Варьируя режим магнитной обработки, можно повысить прочность газосиликатных образцов на 23% [13, с. 232].

Влияние магнитной обработки на вододисперсную систему  $\text{CaO}-\text{H}_2\text{O}$  исследовано А. А. Калыня, А. П. Клявина и И. Я. Лауманис в Рижском политехническом институте. Применялся соленонд, питаемый переменным магнитным полем. Зависимость скорости гашения от напряженности магнитного поля имеет полнэкстремальный характер. В оптимальных условиях время гашения сокращается с 40 до 20 мин, но при некоторых значениях напряженности магнитного поля время гашения, наоборот, вдвое возрастает. Такие же результаты полу-

чены и при добавлении к системе раствора солей железа, но в последнем случае результаты опытов более стабильны.

Изменение кинетики гашения извести связано с получением особой структуры продукта гидратации, с уменьшением его плотности на 0,5%. Изменение процесса кристаллизации сказывается и на эндотермическом эффекте при гашении извести. Возможность регулирования времени гашения извести весьма существенно для производства автоклавных силикатных бетонов, в том числе и газобетона.

### Производство бетона

При использовании омагниченной воды для затворения бетона прочность его возрастает на 10—25%, расход цемента уменьшается, а подвижность бетонной массы возрастает. Приведем краткие результаты, полученные различными авторами.

Г. К. Ярошинский, Ю. Г. Хохлава и С. Г. Покай, проводившие исследования в лабораторных и промышленных (на Власовском заводе железобетонных конструкций) условиях, показали, что прочность бетона возрастает на 15—20%. Результаты стабильны [13, с. 224—227]. И. Л. Повх, В. Б. Совпель и Н. А. Бычин отметили повышение прочности даже на 43%, но результаты были неустойчивыми [13, с. 228]. А. И. Бережной и П. Я. Зельцер опытами в промышленных условиях установили уменьшение газопроницаемости бетона [13, с. 237]. О. П. Мчедлов-Петросян с соавторами, изменяя напряженность магнитного поля, увеличивали и уменьшали прочность бетона [24, с. 189]. В. Е. Зеленков, К. К. Кульсартов, А. А. Мухина и Ю. К. Чернов проверили в промышленных условиях и внедрили в промышленность затворение омагниченной водой бетона, применяемого для закладки горных выработок. Прочность бетона возросла с 3,10 до 3,75 МПа (т. е. на 20%), транспортабельность — на 18%. Это позволяет получить дополнительный прирост прочности за счет уменьшения водоцементного отношения. При этом закладочная масса твердеет скорее и для приобретения ею контрольной прочности требуется вдвое меньше времени. Метод постоянно применяют на Текелийском руднике Министерства цветной

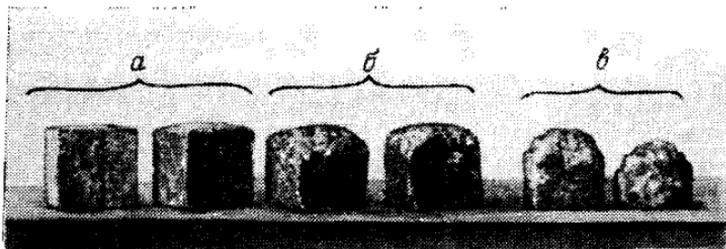


Рис. 82. Образцы бетона после многократного замораживания и размораживания:

*а* — с применением омагниченной воды и уменьшением ее количества до равнозначной удобоукладываемости; *б* — с применением омагниченной воды; *в* — обычной воды.

металлургии Каз.ССР [24, с. 199—203]. В. Н. Петухов получил такие же результаты на Зырянском руднике. Установлена возможность снижения расхода цемента на  $50 \text{ кг/м}^3$  закладки [167].

Впоследствии было установлено, что наиболее устойчивые результаты получаются при совместной магнитной обработке воды (магнитное поле совместно с электрическим током) и омагничивании раствора пластификатора (сульфитно-спиртовой барды). Такая комплексная активация позволила значительно (вдвое) повысить прочность бетонной закладки в 28-м суточном возрасте твердения (В. К. Кульсартов, В. Е. Зеленков, А. К. Тильга, Л. Э. Блеч).

Развернутое исследование влияния омагничивания воды затворения на плотность и морозостойкость гидротехнического бетона проведено Ю. И. Шипиловым [168], который установил, что в этом случае уменьшается водоцементное отношение бетона, улучшается его структура (уменьшается объем контракционных и капиллярных пор), что уменьшает водопроницаемость бетона. Все это значительно повышает морозостойкость бетона (более чем на 100 циклов замораживания — оттаивания). На рис. 82 показаны образцы бетона (расход портландцемента  $M 400210 \text{ кг/м}^3$ ) после 265 циклов замораживания — оттаивания. Образцы, затворенные на омагниченной воде с добавкой сульфитспиртовой барды (ССБ), выдерживают более 1000 циклов замораживания — оттаивания.

Таблица 14. Результаты действия омагничивания воды на бетонные кубики, изготовленные из смесей различного состава

№ партии	Условия приготовления бетона				Характеристика бетонной смеси		Морозостойкость*
	вода	расход воды, л/м <sup>3</sup>	водоцементное отношение	расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	осадка конуса, см	удобукладываемость, с	
1	Обычная	190	0,905	210	5	33—31	147
2	Омагниченная	190	9,905	210	2	18—20	196
3	»	182	0,867	210	1	30—33	223
4	Обычная	207	0,602	344	5	33—35	249
5	Омагниченная	207	0,602	344	3	20—23	326
6	»	195	0,567	344	1	34—36	792
7	Обычная	208	0,468	445	5	36—33	310
8	Омагниченная	208	0,468	445	3	21—22	537
9	»	193	0,434	445	1	35—36	990
10	Обычная+0,15% ССБ	203	0,457	445	3	22—26	404
11	Омагниченная +0,15% ССБ	187	0,442	445	2	26—25	<1000
12	Обычная+комплексная добавка**	183	0,413	445	1	32—35	927
13	Омагниченная+комплексная добавка	178	0,401	445	0,5	30—35	<1000

\* Морозостойкость — число циклов замораживания и оттаивания бетонных образцов, после которых потеря прочности не превышает 15% по сравнению с прочностью образцов в эквивалентном возрасте.

\*\* Комплексная добавка состоит из 0,15% ССБ, 0,01% смолы нейтральной воздухововлекающей смеси СНВ и 0,01% альгината натрия.

Для количественной оценки эффекта омагничивания воды затворения было испытано 13 партий бетона с различными характеристиками смеси и с разным водоцементным отношением. Результаты опытов приведены в табл. 14.

Анализ табл. 14 позволяет заключить следующее: во всех партиях наблюдается значительное повышение морозостойкости бетона, затворенного омагниченной водой. Лучшие результаты получены при уменьшенном расходе воды; указанный эффект наблюдается и в присутствии пластифицирующих и водововлекающих добавок. Эти результаты воспроизведены в производственных ус-

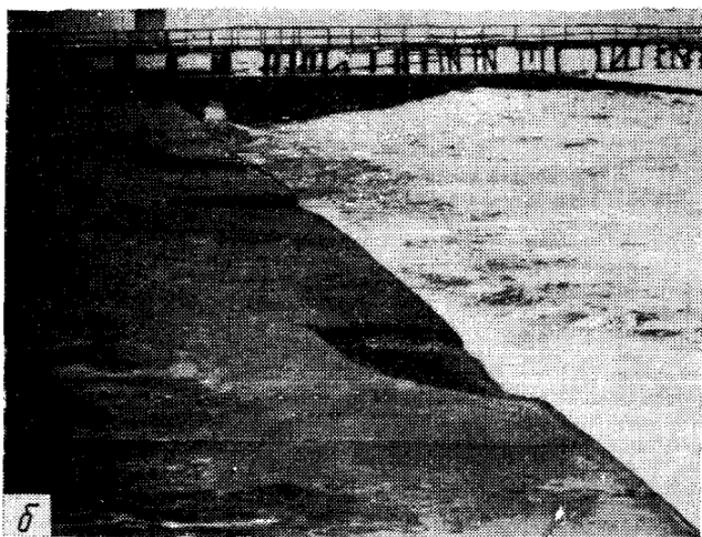


Рис. 83. Состояние берегоукрепительных сооружений после семилетней эксплуатации при затворении бетона обычной водой (вверху) и омагниченной водой (внизу).

ловиях. По данным треста «Черноморстрой», при строительстве берегоукрепительных сооружений отмечено, что в очень неблагоприятных условиях обычный бетон через 7 лет полностью разрушился, а бетон, затворенный омагниченной водой, полностью сохранился (рис. 83). В одесском заливе контейнер с испытуемыми кубиками находился в зоне переменного уровня моря 27 месяцев. Во

всех случаях образцы, затворенные омагниченной водой, имели гораздо большую прочность. Основываясь на полученных данных, Ю. И. Шпилов предлагает для строительства морских гидротехнических сооружений, эксплуатирующихся при переменном уровне моря и знакопеременных температурах, применять бетон, затворенный омагниченной водой с уменьшенным расходом воды до равнозначной удобоукладываемости.

Представляют интерес данные, приведенные в монографии Н. Н. Круглицкого с соавторами [169], в которой говорится о возможности усиления эффекта, создаваемого магнитной обработкой воды, последующей вибрацией бетона. Испытания, проведенные на Киевском заводе железобетонных изделий № 5 с образцами бетона различного состава, показали, что при оптимальном вибрационном воздействии прочность бетона возрастает.

Весьма убедительны результаты восьмилетней практики применения омагниченной воды для затворения цемента на Саратовстрое. Работы проводятся совместно с Балаковским филиалом Саратовского политехнического института (Ю. В. Лизунов и др.). Установлено, что омагничивание воды для затворения бетона оказывает разностороннее положительное влияние на ряд его характеристик. Прочность на сжатие пропаренных образцов возрастает с 20,3 до 22,9 МПа; средняя прочность непропаренных в возрасте 28 суток образцов, затворенных на омагниченной воде, на 8—11% выше прочности таких же образцов, но приготовленных на обычной воде. При тепловой обработке наблюдается значительное повышение прочности, в основном, в начальные сроки твердения. Улучшается и удобоукладываемость смесей, на 4,5—6,5% снижается водопотребление (при сохранении той же подвижности смеси). Устойчивость получаемых эффектов возрастает при добавлении растворов солей железа и сульфитно-спиртовой барды. Экономия цемента для получения образцов в бетоне одинаковых свойств составляет 9—12%. Для приготовления бетона обработке подвергалась вода р. Волги (272 мг/л сухого остатка, общая жесткость 3,5 мг-экв/л) в восьми бетономешалках типа С 230А емкостью по 2,4 м<sup>3</sup> в соответствии с требованиями ГОСТа.

Подтверждены: значительное повышение прочности бетона (на 14—17%), снижение расхода цемента на 9—

Таблица 15. Влияние омагничивания воды на расход цемента в промышленных условиях

Год	Количество бетона, изготовленного на омагничиванной воде, м <sup>3</sup>	Расход цемента, т	Средний расход цемента на 1 т бетона, кг		Экономия цемента, т
			обычная вода	омагничиванная вода	
1972	85631	24463	332,0	285,7	3966
1973	285386	84943	327,0	297,6	8378
1974	283153	85123	333,0	300,6	9167
1975	275313	84106	333,0	305,5	7573
1976	200683	61687	340,0	307,4	6545
1977	218644	67669	345,0	309,5	7764
1978	194547	62689	349,0	322,2	5208
1979	140697	46258	347,7	328,7	2663
Итого	1684054	516938	337,7	307	51264

12%, повышение пластичности бетонных смесей и ускорено твердение бетона. В табл. 15 приведены результаты многолетнего промышленного применения омагничивания воды для затворения цемента на Саратовгэстрое [250, с. 116].

Следует отметить результаты, полученные в Харьковском автодорожном институте под руководством И. М. Грушко, где омагничиванию подвергали деаэрированную воду [170]. Воду для затворения перед омагничиванием вакуумировали, чтобы удалить диоксид углерода, увеличить степень пересыщения раствора карбонатами и улучшить условия возникновения мелких кристаллов. Деаэрацию водопроводной воды осуществляли в вакуумной камере при давлении 7 кПа. Омагничивание воды проводили при напряженности поля около 80 кА/м. Изделия изготовляли из смеси портландцемента и песка (1 : 2) при разном водоцементном отношении. В результате омагничивания обычной воды предельное напряжение сдвига и прочность на раздавливание без аэрации возросли на 27%, с деаэрацией — на 60%. Это сохраняется как в ранние сроки твердения, так и на 28-е сутки. Только деаэрация воды, достигаемая повышением температуры или вакуумированием, такого эффекта не дает.

На комбинате «Кривбассшахтопроходка» применение омагниченной воды позволило увеличить прочность бетонной крепи горных выработок на 25—30% при сокращении расхода цемента на 5—8% [24, с. 222—223]. Внедрение магнитной обработки воды на Шапсугском заводе железобетонных изделий привело к повышению прочности бетона на 40%, т. е. ежегодно сохраняется 400 т цемента (около 15%). Б. С. Баталин и Ю. П. Ожигбесов установили, что магнитная обработка воды в производстве керамзитопенобетона дала возможность на 15% сократить расход канифоли. Магнитную обработку воды с успехом применяют на Минском домостроительном комбинате № 1 с 1972 г., на Фаниопольском заводе мостовых конструкций (с 1969 г.), в СУ-818 Главдорстроя (с 1972 г.). С. В. и В. С. Поляковы (Казанский инженерно-строительный институт) экспериментально подтвердили повышение прочности и морозостойкости бетона, более быстрое его твердение и наличие пластификации при использовании омагниченной воды для затворения. Повышение прочности на 15—20% и эффект пластификации установлены также и В. М. Челноковой [171].

Магнитная обработка морской воды на заводе железобетонных изделий треста «Азморнефтестрой» позволила повысить прочность бетона на 40—50% и сократить расход цемента на 14% [172]. В. И. Батюшко показал, что прочность железобетонных изделий возрастает на 20—36% при добавлении в воду перед магнитной обработкой хлористого калия, ССБ или хлористого железа. В. А. Улазовский отметил, что во многих случаях эффект магнитной обработки воды, поступающей на затворение, усиливается, если бетон подвергнуть тепловой обработке. Это подтверждено и другими исследователями.

В институте НИИЖБ (Москва) в 1971 и 1974 г. были проведены специальные конференции, посвященные проблеме применения омагниченной воды в технологии бетона.

В 1971 г. в решении конференции было отмечено, что «к настоящему времени накоплен некоторый производственный опыт. Так, на Ташкентском домостроительном комбинате № 1 при производстве 54 тыс. м<sup>3</sup> бетона была получена экономия 2160 т цемента. За счет внедрения магнитной обработки бетонной смеси в бетоно-

смесителях на Пермском заводе железобетонных изделий в 1969 г. достигнута экономия 800 т цемента».

В решении конференции 1974 г. говорится о том, что «практическое внедрение магнито-обработанной воды для затворения бетона осуществляется на Саратовгэсстрое, Главприволжскстрое, Минском ДСК-1, Пермском ЖБК-1, в тресте «Гуймазанефтестрой» и в других организациях. В ряде случаев это сочетается с другими технологическими приемами (с разными добавками и т. п.). ...В соответствии с решением первого совещания, Ташкентским ЗНИИЭПом, трестом «Оргтехстрой» и НИИЖБом были поставлены в Ташкенте и Москве показательные эксперименты, «... установившие эффект пластификации бетонных смесей жесткостью свыше 30 с при их вибрировании. Этот эффект был в дальнейшем подтвержден другими организациями».

Приведенные данные свидетельствуют о *большой перспективности применения магнитной обработки воды в производстве бетона* хотя в отдельных случаях по неясным причинам ожидаемый эффект не был достигнут, а начатое промышленное применение омагниченной воды было прекращено. Совершенно очевидно, что это явилось следствием определенной недоработанности вопроса.

#### Производство изделий с применением других вяжущих

Имеются разнообразные сведения об эффективности магнитной обработки воды и водных растворов в производстве изделий, получаемых на основе золы и шлака (табл. 16) [24, с. 182].

Улучшение твердения закладки горных выработок смесью гранулированного доменного шлака с песком и водой отметили Г. М. Малахов, Г. Т. Фаустов, П. И. Федоренко и Н. В. Гуревский [173]. В обычных условиях через 3 месяца эта закладка выдерживает давление 7—8 МПа. После затворения омагниченной водой закладка выдерживает давление 10,2 МПа (т. е. твердость возрастает на 30%). Чтобы достичь такой твердости обычной закладки, нужно на  $\frac{1}{3}$  увеличить содержание шлака в смеси.

Результаты промышленного испытания магнитной обработки воды в производстве керамических канализационных труб на Щекинском заводе «Кислотоупор» показали увеличение прочности изделий на 34%; метод был принят к внедрению.

А. М. Фаринов и А. Д. Ковтун установили, что магнитная обработка воды дает положительные результаты

Таблица 16. Влияние магнитной обработки воды и 3%-ного раствора HCl на прочность изделий, изготовленных на основе золы и шлака. Числитель — без обработки, знаменатель — после магнитной обработки

Вязущий материал	Затворитель	Предел прочности при сжатии, МПа	
		влажно-воздушное твердение, через 28 суток	после автоклавной обработки
Зола	Вода	3,8/8,5	—
	3%-ный раствор HCl	20,2/28,4	21,9/31,9
Зола+шлак (1:1)	Вода	3,3/6,2	—
	3%-ный раствор HCl	20/28,3	25,9/63,5
Зола+полуводный гипс (4:1)	Вода	7,5/16,6	20,6/40,5
	3%-ный раствор HCl	21,1/30,9	40,2/47,3

при получении полимерцементного бетона на основе латекса [24, с. 190—194]. «Магнитная обработка стабилизированного латекса способствует равномерному обволакиванию слоев полимера отдельных структурных элементов, их более прочному склеиванию». Возрастают предел прочности при изгибе, адгезия со сталью. Уменьшается водопоглощение. Расход дорогого стабилизатора снижается на 20%, повышается скорость твердения смеси и улучшаются ее физико-механические характеристики Ю. П. Васин и др. показали, что при обработке водного раствора жидкого стекла, смешиваемого затем с маршалитом, значительно повышается прочность оболочек, изготавливаемых из этой смеси [24, с. 195—196].

#### Экономический эффект

Общий фактический и потенциальный экономический эффект от применения магнитной обработки воды, используемой для затворения бетона, пока еще не установлен. Ориентировочно можно считать, что применение магнитной обработки позволит сократить расход цемента на 10% (т. е. даст стране без существенных затрат

12 млн. т этого дефицитного материала стоимостью 240 млн. руб.). При этом не учитываются другие положительные факторы — улучшение качества изделий, возможность применения менее дефицитных вяжущих веществ.

Пока же можно сообщить отдельные данные об экономической эффективности применения магнитной обработки\*:

завод железобетонных изделий треста «Черноморстрой» экономит 1900 т цемента в год или около 40 тыс. руб.;

минимальная годовая экономия на Волгоградском заводе напорных труб составляет 100 тыс. руб.;

годовая экономия от внедрения на Шапсугском заводе этого метода составляет 10 тыс. руб.;

экономия на твердеющей закладке на Текелийском руднике составила 100 тыс. руб. в год;

экономия на небольшом заводе «Кислотоупор» составляет 30 тыс. руб. в год;

при производстве тяжелого бетона на каждые 50 тыс. м<sup>3</sup> экономится 15 тыс. руб.;

на небольшом бетонном заводе треста «Азморнефстрой», производящем ежегодно 23 тыс. м<sup>3</sup> бетона, экономия составляет 20 тыс. руб. в год.

«Саратовгосстрой» сэкономил за 7 лет 51,2 тыс. т цемента, т. е. в среднем 7,2 тыс. т в год (около 140 тыс. руб.).

Следует отметить, что затраты на внедрение установок окупаются через несколько месяцев и даже недель. В ряде случаев один затраченный рубль приносит прибыль, исчисляемую несколькими сотнями рублей.

## 2. УМЕНЬШЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ НАКИПИ И ДРУГИХ ИНКРУСТАЦИЙ

Отложения различных солей на стенках теплоэнергетических и других аппаратов приводят к резкому снижению эффективности их работы, перерасходу топлива и частым остановкам для очистки. Считается, что общий механизм отложения накипи и других инкрустаций заключается в возникновении и дальнейшем росте на твер-

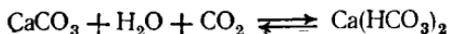
\* Эти данные взяты из официальных актов предприятий.

дых поверхностях кристаллов веществ, находящихся в растворе. Выделение кристаллов на стенках аппаратов происходит в том случае, если вблизи них находится пересыщенный раствор. Магнитная обработка воды позволяет устранить пересыщение, поскольку выделение растворенных солей стимулируется в объеме воды. Недостаточный отвод тепла часто оказывает влияние и на весь технологический процесс, например приводит к снижению производительности агрегатов синтеза аммиака.

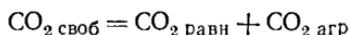
### Накипь

Магнитная обработка воды как средство борьбы с накипью получила известность еще в 1945 г. (бельгийский патент № 460560, выданный Т. Вермайрену). Большое число исследований и практических результатов, касающихся применения магнитной обработки в теплоэнергетике, суммированы в работах [13, 35, 37, 40, 24, 70 и 78]. В большинстве случаев магнитная обработка эффективна при определенном солевом составе воды, т. е. воды с определенной кальциевой карбонатной жесткостью. Обработка воды, характеризующейся высокой сульфатной жесткостью, не дает хороших результатов. Все факторы, определяющие возможность получения пересыщенных растворов, в частности содержание в воде диоксида углерода, оказывают влияние на результаты магнитной обработки.

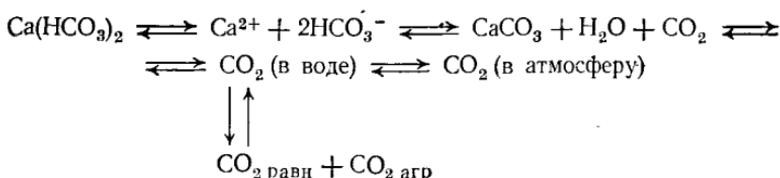
Основным условием эффективного применения магнитной обработки для уменьшения образования накипи является возможность выделения в объеме и устойчивого существования кристалликов солей жесткости. Это, естественно, возможно только в случае пересыщения воды по растворенным карбонатам и сульфатам кальция и магния. Основным накипеобразователем в природной и технической водах является карбонат кальция, растворимость которого в этих водах ничтожно мала, поскольку эта соль может растворяться в воде только при определенной концентрации в ней растворенного диоксида углерода. В его присутствии карбонат кальция переходит в гидрокарбонат, определяющий карбонатную жесткость воды, согласно следующей реакции:



Растворенный в воде «свободный» диоксид углерода ( $\text{CO}_2_{\text{своб}}$ ) находится преимущественно в форме молекул газа (99%) и только около 1% — в соединении с водой ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). В свою очередь,  $\text{CO}_2_{\text{своб}}$  разделяется на диоксид равновесный ( $\text{CO}_2_{\text{равн}}$ ), определяющий существование  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  в воде, и агрессивный ( $\text{CO}_2_{\text{агр}}$ ), растворяющий карбонат кальция и железо:



Карбонатная система находится в подвижном равновесии, характеризуемом в общем виде следующей схемой:



В том случае, когда концентрация  $\text{CO}_2_{\text{своб}}$  меньше равновесной, вода пересыщается по карбонату кальция, является нестабильной, склонной к образованию кристаллов  $\text{CaCO}_3$ . Магнитная обработка именно такой воды оказывается эффективной. Если же концентрация  $\text{CO}_2_{\text{своб}}$  превышает равновесную, то выделение  $\text{CaCO}_3$  из раствора не происходит, что обусловлено присутствием  $\text{CO}_2_{\text{агр}}$ . Магнитная обработка такой воды с целью уменьшения образования накипи неэффективна.

О пересыщении воды по карбонату кальция с достаточной для практики точностью можно судить по концентрации  $\text{CO}_2_{\text{своб}}$ , определяемой по расчету или без опыта.

Концентрацию  $\text{CO}_2_{\text{равн}}$  (мг/л) рассчитывают по формуле [78, с. 42]

$$\text{CO}_2_{\text{равн}} = \frac{K_2}{K_1 \cdot \text{ПР}_{\text{CaCO}_3}} [\text{HCO}_3^-]^2 f_1^2 [\text{Ca}^{2+}] f_2 \cdot 44 \cdot 10^3$$

где  $K_1$  и  $K_2$  — константы диссоциации уголекислоты 1-й и 2-й степеней (сведения об их величинах приведены в [78]);  $\text{ПР}_{\text{CaCO}_3}$  — произведение растворимости  $\text{CaCO}_3$ ;  $[\text{Ca}^{2+}]$ ,  $[\text{HCO}_3^-]$  — концентрации соответствующих ионов, г-ион/л;  $f_1$  и  $f_2$  — коэффициенты активности, соответственно для одновалентных и двухвалентных ионов.

Для расчета  $\text{CO}_2_{\text{равн}}$  необходимо знать карбонатную жесткость воды. Связь этих характеристик приведена в табл. 17 [78, с. 61].

Таблица 17. Взаимосвязь карбонатной жесткости и  $CO_{2\text{равн}}$

Карбонатная жесткость, мг-экв/л	$CO_{2\text{равн}}$	Карбонатная жесткость, мг-экв/л	$CO_{2\text{равн}}$
0,21	0	5,0	35,0
0,68	0,4	5,46	47,0
1,03	0,6	6,25	72,3
1,57	1,4	6,60	85,0
2,03	2,4	7,03	103,0
2,50	3,9	7,50	122,5
2,96	6,00	8,00	149,1
3,53	10,4	8,53	171,0
4,03	17,2	9,07	199,5
4,53	25,0		

Пример определения стабильности водного раствора карбоната кальция: при карбонатной жесткости воды 4,4 мг-экв/л и концентрации  $CO_{2\text{своб}} = 11,0$  мг/л  $CO_{2\text{равн}} \approx 22,7$  мг/л. Тогда  $[CO_{2\text{равн}}] > [CO_{2\text{своб}}]$ , т. е. данный раствор является нестабильным.

Нестабильность водных растворов по карбонату кальция можно определять и по pH среды, при условии содержания в ней только  $CO_{2\text{равн}}$  (метод Ланжелье). Индекс стабильности  $I_c$  (или индекс Ланжелье) находят по уравнению  $I_c = pH - pH_c$ , причем pH определяется анализом, а  $pH_c$  — по расчету. При  $pH > pH_c$  вода нестабильна, и магнитная обработка не даст эффекта. При  $pH < pH_c$  эффект будет достигнут.  $pH_c$  можно определить по номограммам [78, с. 63].

Пересыщение по сульфату кальция имеют высокоминерализованные и морские воды, а также вода после искусственного концентрирования. Оно определяется расчетом из соотношения произведения растворимости сульфата кальция ( $ПР_{CaSO_4}$ ) при данной температуре и произведения активности (ПА) ионов кальция и сульфат-ионов. ПА находят по формуле

$$ПА = [Ca^{2+}] [SO_4^{2-}] f_{II}^2$$

где  $[Ca^{2+}]$  и  $[SO_4^{2-}]$  — концентрация соответствующих ионов, г-ион/л;  $f_{II}^2$  — коэффициент активности двух валентных ионов, зависящий от ионной силы раствора.

При  $ПА > ПР_{CaSO_4}$  вода пересыщена по сульфату кальция и ее магнитная обработка дает эффект. Детальное рассмотрение вопросов пересыщения водных растворов солями жесткости приведено в работе [78].

Большое практическое значение имеет хорошо организованное выведение из водяной системы теплообменных аппаратов тонкодисперсного шлама и кусков накипи, отслаивающихся от стенок при применении омагниченной воды. На первом этапе применения этому не уда-

лялось должного внимания, что едва не скомпрометировало всю проблему.

В основном магнитную обработку применяют для уменьшения образования накипи в котлах низкого давления (не экранированных), преимущественно с большим водяным объемом, в бойлерах, различных теплообменниках, в тепловых сетях отопительных котлов, в местных системах горячего водоснабжения, в конденсаторах паровых турбин, в компрессорах, в двигателях внутреннего сгорания, автотракторных двигателях, а также в выпарных установках и дистилляторах. Особенное внимание следует уделить применению омагничивания водных систем в теплоэнергетике (ввиду наибольшей ее развитости).

Мы уже отмечали перспективность комбинированного воздействия магнитного поля и электрического тока или ультразвука. Применительно к противонакипной обработке совместное действие магнитного и ультразвукового полей на водные системы дает более высокий противонакипный эффект. Е. Ф. Тебенихин, В. С. Старовойтов и А. М. Чукинова показали, что только магнитная обработка позволяет снизить образование накипи на 38%, если же ей предшествует ультразвуковая обработка, то эффект достигает 72% [250, с. 17]. Расчеты, основанные на длительной практике эксплуатации магнитных аппаратов для омагничивания питательной воды парогенераторов низкого давления, показывают, что каждый рубль затрат дает сотни рублей экономии, а сами аппараты окупаются в течение нескольких недель эксплуатации. При выборе омагничивания питательной воды или ее химической очистки на Na-катионитовых фильтрах часто решают вопрос в пользу омагничивания: если стоимость одного Na-катионитового фильтра составляет 2000 руб., то стоимость аппарата со шламоотделителем для этих же условий примерно на порядок меньше (290 руб.); если расходы на эксплуатацию фильтров за отопительный сезон составляют примерно 500 руб., то эксплуатационные расходы при омагничивании воды на 1,5—2 порядка меньше. Например, только на одном из котлов типа ПКН Прилукского управления буровых работ объединения «Укрнефть» получен годовой экономический эффект 7000 руб.; на всех котлах этого объединения он достигает 340 тыс. руб.

Следует также отметить, что на регенерацию сорбентов при химводоподготовке в стране ежегодно тратится около 1,8 млн. т поваренной соли. По данным «Главпромстройпроекта», в стране ежегодно вводится 10—12 тыс. небольших котельных, не оборудованных Na-катионитовыми фильтрами. Но есть и отдельные сведения о том, что установка магнитных аппаратов перед нонитными фильтрами существенно повышают их емкость [13].

В *теплоснабжении* процессы протекают при низких температурах (80—90°C). Низкотемпературные накипи состоят, в основном, из карбонатов и продуктов коррозии (преимущественно оксидов железа). Железистые продукты образуются и при нагреве артезианских вод, содержащих бикарбонат железа.

В табл. 18 приведены размеры противонакипных эффектов (процент снижения накипеобразования) при низкотемпературном нагреве различных омагниченных вод [78, с. 132]. Во всех случаях этот эффект достаточно велик.

Эффективность магнитной обработки артезианских вод, содержащих кроме бикарбоната кальция значительное количество аморфных частиц гидроксида железа (III) снижается тем, что эти частицы оседают на по-

Таблица 18. Эффективность омагничивания различных вод при низкотемпературном нагреве

Источник водоснабжения	Напряженность магнитного поля, кА/м	Противонакипный эффект, %	Качество обрабатываемой воды				
			щелочность, м-экв/кг	жесткость, мг-экв/кг	соле-содержание, мг/л	pH	окисляемость по O <sub>2</sub> , мг/л
р. Волга (г. Астрахань)	80	92,0	2,0	3,10	150	7,05	7,0
р. Волга (г. Саратов)	120	92,2	2,0	3,30	250	7,75	8,7
Москворецкая Артезианская (г. Клин)	120	91,5	3,8	4,56	250	7,50	5,6
Артезианская (г. Рязань)	120	91,0	7,0	7,50	355	7,50	3,2
Артезианская (г. Рязань)	128	95,0	7,0	7,40	270	6,70	0,56
Терновского водохранилища (Донбасс)	120	86,0	3,3	21,50	3265	8,6	7,4

верхности, захватывая с собой значительное количество карбонатной взвеси. Исследования Всесоюзного теплотехнического института показали, что в этом случае полезно сочетание омагничивания воды с ее предварительным обезжелезиванием.

В теплоснабжении омагничивание воды применяют в следующих системах:

а) в *открытых тепловых сетях*, широко распространенных, имеется два вида тепловой нагрузки: отопление и горячее водоснабжение. Температура подпиточной воды в открытых сетях достигает  $150^{\circ}\text{C}$ , ее количество составляет 40—50% от общего количества циркулирующей воды. Магнитная обработка подпиточной воды должна применяться в сочетании с термической деаэрацией, предотвращающей коррозию оборудования сетей и, следовательно, появление отложений оксидов железа. При наличии в исходной воде различных твердых взвесей необходимо ее предварительно осветлить при помощи коагуляции и осаждения взвесей. В этих случаях последовательность операций такая (например, на Саратовской ГРЭС): контакт воды с коагулянтом → осаждение взвеси → магнитная обработка осветленной воды → подогрев I и II ступеней → деаэрация воды → подача ее в сеть.

Следует отметить, что в открытых тепловых сетях сильно минерализованные воды (жесткость выше 4 мг-экв/л и минерализация более 500 мг/кг) выделяют после магнитной обработки столько тонкодисперсных карбонатных частиц, что возникает опасность их оседания на участках с небольшой (менее 0,5 м/с) скоростью течения. Это необходимо учитывать при гидродинамическом расчете системы.

Примерами использования магнитной обработки воды для такого случая является Саратовская ГРЭС. На ней с 1972 г. работают два водогрейных котла типа ПТВМ-100 с нагревом воды до  $130^{\circ}\text{C}$ . Расход подпиточной воды 900 т/ч. Ежегодно в сеть города подается около 6 млн. т омагниченной воды. При применении натрий-катионитового способа обработки воды в год расходуется более 3000 т поваренной соли, а себестоимость воды составляет 25,3 коп./т. При магнитной обработке воды себестоимость равна 3,3 коп./т и годовой экономический эффект составляет 1,3 млн. руб. Установка под-

дается полной автоматизации и исключается загрязнение окружающей среды сбросными солеными водами [250, с. 107].

На западной котельной «Росттеплосети» с 1973 г. эксплуатируется магнитный аппарат производительностью 1000 т/ч для обработки Донской воды, поступающей в подпитку теплосети с открытым горячим водоразбором. Отложений накипи не наблюдается; годовой экономический эффект превышает 500 тыс. руб. На Астраханской ТЭЦ внедрение обработки дало возможность сэкономить 130 тыс. руб. капиталовложений.

Следует также подчеркнуть еще одно важное обстоятельство: применение омагничивания воды исключает периодический сброс загрязненной воды, характерный для химводоочистки;

б) *в закрытых тепловых сетях*, использующих для бытовых целей воду, подогретую до 60—70°C. Накипь образуется на трубках подогревателей, которые через несколько месяцев эксплуатации необходимо очищать от нее. В этом случае магнитная обработка имеет неоспоримое преимущество перед реагентной очисткой и Na-катионитовой водоподготовкой, поскольку затраты снижаются в 3—4 раза. Так как вода в этих сетях имеет меньшую температуру, чем в пароводяных бойлерах, практически исключается возможность прикипания взвеси к поверхности нагрева даже при невысокой скорости потока воды;

в) *в отопительных системах с чугунными водогрейными котлами*; только Московский чугунолитейный завод им. Войкова ежегодно выпускает более 300 водогрейных секционных котлов в комплекте с магнитными аппаратами системы ПМУ. Особенность этих систем — циркуляция в них в течение всего отопительного сезона практически одной и той же воды (потери воды в системе не превышают 1—2%). Поэтому происходит накапливание в системе взвесей и особую роль приобретают шламовые делители. Иногда приходится спускать воду и промывать всю систему;

г) *в системах охлаждения конденсаторов турбин, двигателей внутреннего сгорания, компрессоров и других, им подобных устройств*. Обработка 25—80% всей подпиточной воды, а также оборотной воды после градирен дает весьма ощутимый эффект. Особенно в последнем

случае, поскольку вода, проходя через градирню или брызгательный бассейн, теряет часть диоксида углерода и образует еще более нестабильный раствор карбонатных соединений.

Для выбора схемы магнитной обработки воды в конденсаторах Всесоюзным теплотехническим институтом разработаны характеристики, учитывающие не только стабильность воды и предельную карбонатную жесткость, но и стабилизирующее действие органических веществ [175].

Магнитную обработку воды оборотных систем охлаждения конденсаторов турбин применяют на ряде ГРЭС и ТЭЦ (Кураховской, Харьковской, Бежицкой и др.). На Бежицкой ТЭЦ до применения магнитной обработки толщина накипи за межремонтный период достигала 3—4 мм. Через 3 месяца после установки магнитного аппарата ранее отложившаяся накипь начала разрыхляться и после промывки полностью удалась.

Следует остановиться на опыте применения магнитной обработки воды, циркулирующей в трубках конденсатора турбины К-200-130 мощностью 200 МВт на Заинской ГРЭС, поскольку этот случай свидетельствует о перспективах применения магнитной обработки не только в «малой», но и в «большой» энергетике, использующей мощные экранированные котлы высокого давления.

Как сообщал главный инженер Заинской ГРЭС Н. Н. Ломагин, до установки электромагнитного аппарата на внутренних поверхностях трубок отлагалось много накипи, ухудшающей теплообмен и приводящей к значительному перерасходу топлива и потере мощности на турбине. Большое количество накипи обусловлено высокой минерализованностью охлаждающей воды (общая жесткость 10—12 мг-экв/л, карбонатная жесткость 6—8 мг-экв/л). После установки в 1977 г. аппарата (сконструирован Всесоюзным теплотехническим институтом, изготовлен Чебоксарским заводом «Энергозапчасть; производительность 12500 м<sup>3</sup>/ч) отложение новой накипи прекратилось и постепенно удалась ранее образовавшаяся накипь. Применение магнитной обработки позволило повысить вакуум примерно на 0,5% и избежать кислотных промывок. Намечается внедрение подобных установок на всех блоках Заинской ГРЭС.

Работы по применению магнитной обработки воды в азотной промышленности проведены под руководством А. М. Алексеева, П. П. Андренцева, А. М. Ходжаева и Б. И. Пиктовникова. Начиная с 1970 г., успешно эксплуатируются аппараты конструкции ГИАП (см. рис. 65). для обработки воды, используемой в качестве хладоагента, и питательной котловой воды. В азотной промышленности используется более 90 аппаратов производительностью 20, 30, 70, 100, 150, 200, 300 и 500 м<sup>3</sup>/ч. Они установлены в цехах газовой компрессии производства аммиака, хлора, капролактама и азотной кислоты для питания водой котлов-утилизаторов.

Результаты применения магнитной обработки в азотной промышленности следующие:

отсутствует образование накипи; иногда отлагается рыхлый осадок, легко удаляемый при продувке; ранее имевшаяся накипь растворяется и удаляется;

понижилась температура охлаждаемых веществ (газовой смеси при компримировании и конденсации) на 6—13 °С, поскольку улучшился теплообмен;

значительно сократился объем ремонтно-эксплуатационных работ при обслуживании холодильников-конденсаторов (исключены операции их очистки, проводимые ранее 2—3 раза в год);

увеличился срок службы холодильников (конденсаторов) в 1,5—2 раза;

исключена операция бакелитирования теплообменных поверхностей;

сократились энергозатраты на сжатие газа и расход охлаждающей воды;

увеличился съем пара на котлах-утилизаторах;

повышена степень извлечения целевого продукта из смеси конвертированных газов.

По расчетам ГИАП на перспективу потребуется 7500 аппаратов высокой производительности (300 и 500 м<sup>3</sup>/ч). Экономический эффект в этой отрасли составит значительную величину.

д) для обработки морских и высокоминерализованных вод, все больше применяемых в теплоэнергетике. Если раньше предпочтение отдавали дистилляционному, электроднализному и газгидратному методам [78, с. 146], то теперь предпочитают омагничивание. Особенностью морской воды, как указывалось выше, является высокое содержание, главным образом, хлоридов и сульфатов натрия, магния и кальция. Отмечается, что присутствие ионных ассоциатов обуславливает высокое пересыщение растворов. Кристаллизация сульфата кальция зависит

от температуры: до 100 °С выделяются из раствора преимущественно дигидрат и полугидрат, от 100 до 130 °С — полугидрат и при более высокой температуре — ангидрит. Последний наименее растворим в воде и поэтому является главным компонентом накипи в испарителях, работающих при температуре выше 100 °С или при высокой кратности упаривания воды.

В литературе описан ряд примеров успешного применения магнитной обработки морской воды. Р. К. Джалилов и А. М. Агаларов, обрабатывая воду Каспийского моря для системы оборотного водоснабжения, снизили образование накипи на 80—86%. В Красноводске, при обработке той же воды перед испарителями стационарного типа уменьшено снижение производительности с 40—60% до 5%.

Работами Московского энергетического института установлена эффективность магнитной обработки океанской воды с высокой концентрацией солей (35 г/кг) перед опреснительной установкой. Если без магнитной обработки через 12 суток производительность установки снижалась вдвое, то при магнитной обработке она снижалась всего на 10% [78, с. 150]. На рис. 84 показано характерное состояние секций водогрейных котлов, эксплуатировавшихся одинаковое время в строго одинаковых условиях, но питавшихся обычной водой и омагниченной. Лучшие результаты получаются при использовании воды, содержащей бикарбонат кальция. На рис. 85 показано уменьшение отложения накипи в теплообменниках, питаемых морской водой.

Длительное применение омагничивания воды для борьбы с накипью позволило В. И. Миненко, Е. Ф. Тебенихину и другим сделать следующие обобщения. В прямоточных системах водоснабжения обработке следует подвергать всю воду, а в оборотных — всю подпиточную воду и не менее четверти воды, циркулирующей в системе. Время между обработкой воды и ее поступлением в теплообменный аппарат должно быть не более 1—4 ч.

Котлы должны быть оборудованы грязевиками или барабанами для сборки шлама и должны регулярно подвергаться продувке для удаления шлама. В каждом частном случае обязательно должна быть осуществлена настройка аппаратов. Желателен постоянный контроль

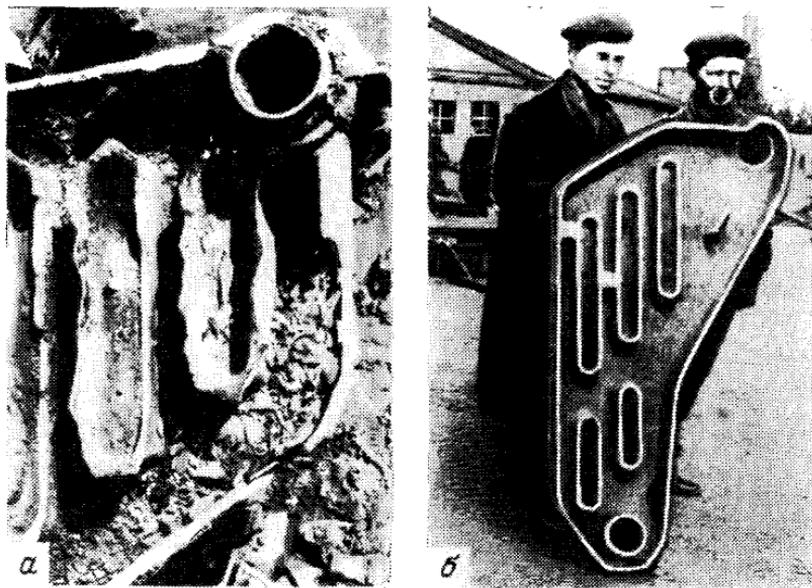


Рис. 84. Образование накипи в секциях водогрейного котла, питаемого обычной московской водопроводной водой (а) и омагниченной (б).

мутности котловой воды. При хорошей обработке вода — мутная, поскольку тонкая взвесь долго не оседает, и жесткость воды несколько снижается. Прозрачность котловой воды свидетельствует о неэффективности обработки. Лучшие результаты получены на газо- и паротрубных котлах всех типов и неэкранированных котлах с грязевиками, отключенными от циркуляционного потока. Менее хорошие результаты получены на неэкранированных котлах с нижним циркуляционным барабаном.

В системах охлаждения накипь образуется при температуре выше  $30^{\circ}\text{C}$ . Это связано с понижением растворимости солей жесткости и интенсивным распадом бикарбонатов при температуре выше  $40^{\circ}\text{C}$ .

В ряде случаев влияние магнитной обработки на отложение карбонатов значительно уменьшалось в присутствии определенных количеств сульфатов. Например, на Курском кожевенном заводе им. Серегина при соотношении концентраций карбонатов и сульфатов 4:1 эффект исчез и был восстановлен при значительном повышении

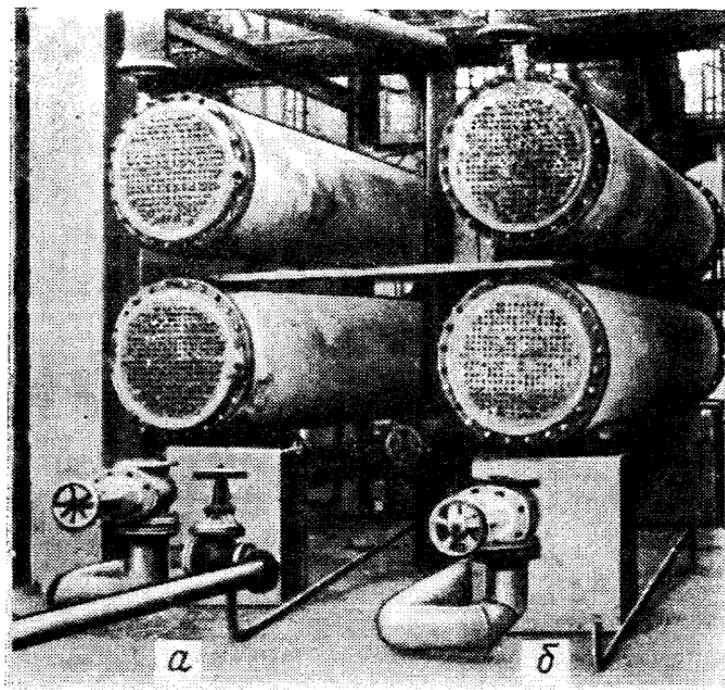


Рис. 85. Уменьшение отложения накипи в теплообменниках, питаемых морской водой:

*а* — омагниченная; *б* — обычная.

напряженности поля. В. И. Миненко, учитывая относительно высокую энергию гидратации иона  $\text{SO}_4^{2-}$ , рекомендует для сульфатных вод более высокие напряженности магнитного поля.

При недостаточной циркуляции воды, повышенной тепловой напряженности и сильно развитой поверхности нагрева интенсифицируется вторичное накипеобразование с устранением или уменьшением эффективности магнитной обработки [24, с. 161—162]. В ряде случаев уменьшается коррозия металлов и изменяется состав оксидной пленки [24, с. 165].

Общее число применяемых в нашей стране и за рубежом установок для магнитной обработки воды с целью уничтожения накипи составляет десятки тысяч, и в подавляющем большинстве случаев их применение дает положительные результаты.

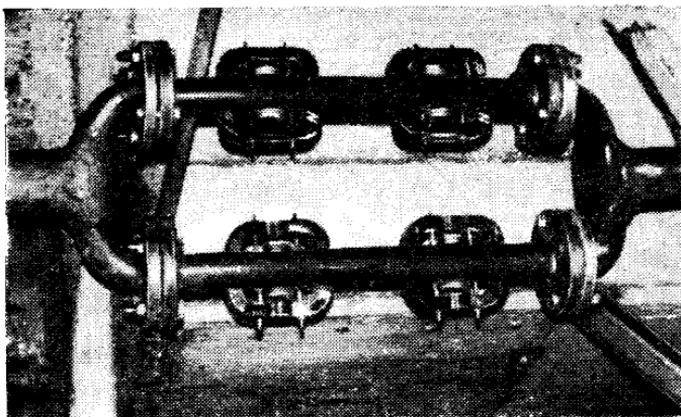


Рис. 86. Самодельное устройство из постоянных магнитов.

На многих предприятиях используется простейшее устройство из подковообразных магнитов (автор В. В. Васильев — Дальрыбвтуз), надетых на трубу из диамагнитного материала (рис. 86). На рис. 87, *а* показаны образцы экранных труб котла ДКВР, работавшего в течение 3500 ч на обычной воде. Поверхность труб покрыта толстым слоем накипи (5 мм). При таком слое накипи перерасход мазута составил 25%. На рис. 87, *б* показаны трубы этого же котла, на которых были установлены подковообразные магниты. Как видно из рисунка, накипи практически нет. Экономический эффект одного такого устройства превышает 10 тыс. руб. в год. Следует подчеркнуть, что такой эффект достигается в том случае, если котельные оборудованы химводоподготовкой.

Имеется много данных об успешном применении магнитной обработки воды на морских и речных судах. Обработку осуществляют на сотнях котлов с хорошим технологическим эффектом. Пароходы «Немирович-Данченко», «Тунец», «Брест», «Камчатка», «Мурманск» (более пятидесяти) оборудованы шестиполосными аппаратами конструкции Дальневосточного политехнического института. Иногда напряженность поля не превышает 6,4 кА/м. Во всех случаях накипи или совсем не возникает, или отлагается в несколько раз медленнее. Старая накипь разрушается.

На многих шахтах Донецкого бассейна («Украина», № 2-бис, № 5-бис, № 25 им. Артема и др.) после обработки воды накипь в котлах типа ланкаширского снизилась в 5—10 раз.

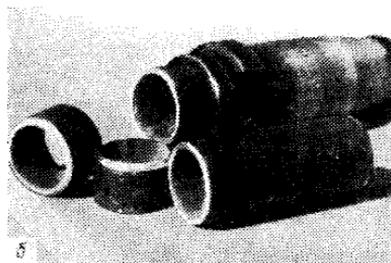


Рис. 87. Образцы поверхностей экранных труб котла ДКВР после 3500 ч работы при питании:  
*а* — обычной водой; *б* — омагниченной водой.

Под руководством П. И. Макарова в 1979 г. омагничивание начали применять на судах типа БМРТ «Колывань» и «Мыс Осипова» для обработки воды, поступающей в испарители. Ранее испарители вскрывали для чистки каждый месяц, поскольку их производительность снижалась с 10 до 6 т конденсата в сутки. Накипь была очень прочной. После обработки воды отложение накипи практически прекратилось и в течение 5 мес. производительность испарителей достигла 11—12 т в сутки. Только на одном испарителе экономится 125 т мазута в год. Годовая экономия топлива на судах океанического производства Камчатрыбпрома в стоимостном выражении превышает 200 тыс. руб.

Хорошие результаты получены при применении омагниченной воды в радиаторах автомашин и тракторов. Централизованная заправка машин омагниченной водой организована на Людиновском автотранспортном предприятии (г. Москва); на некоторых автомашинах установлены магнитики. Большое число аппаратов типа ПМУ применяют для различных теплообменных установок объединения «Сельхозтехника».

#### Инкрустации в аппаратах, применяемых в нефтяной промышленности

При добыче и транспортировке обводненной нефти происходит интенсивное выделение неорганических солей на стенках подъемных труб, выкидных линий, сборных коллекторов и насосов, что приводит к сокращению межремонтного периода эксплуатации. Д. М. Агаларо-

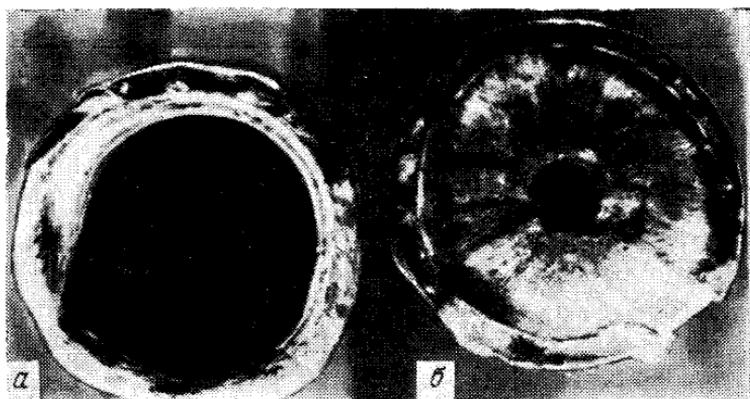


Рис. 88. Отложения в трубах при добыче обводненной нефти:  
*а* — при магнитной обработке; *б* — без обработки.

вым предложен, испытан и внедрен в практику способ уменьшения этих отложений [13, с. 288—296]. В нижнем участке скважин и на выкидных линиях устанавливают круглые постоянные магниты, создающие поля оптимальной напряженности. Накопленные за 1964—1968 гг. данные свидетельствуют о значительном снижении отложений солей на этих участках (рис. 88, табл. 19). В 1970 г. в объединениях «Азнефть» и «Казморнефть» магнитная обработка применялась на 120 скважинах.

В объединении «Казморнефть» после магнитной обработки пластовых вод стало возможным не сбрасывать их, а использовать для технических нужд и возврата в пласты. Таким образом, прекращен забор 3,5 млн. м<sup>3</sup> воды в год из Каспийского моря. Метод магнитной обработки обводненной нефти применим также для уменьшения отложения смол и парафинов на стенках нефтепромыслового оборудования (хотя для этой цели стенки можно покрывать лаками, эмальями и др.). Как показано впервые в 1960 г. А. И. Тихоновым и В. Я. Мягковым, магнитная обработка позволяет не только уменьшить образование инкрустаций солей жесткости, но и существенно уменьшить образование смолотпарафиновых отложений. Результаты исследования этого процесса Я. М. Каганом позволили установить следующее [176]. При воздействии электромагнитного поля на раствор парафина в керосине понижается температура, при кото-

Таблица 19. Результаты применения магнитной обработки обводненной нефти в скважинах нефтепромыслов (в 1967—1968 гг.)

Управление	Число скважин		Средний межремонтный период работы скважин, суток		Экономия труб, м
	всего	с магнитной обработкой	до магнитной обработки	после магнитной обработки	
«Орджоникидзенефть»	39	18	48	87	16300
«Азизбековнефть»	64	25	50	96	3400
«Лениннефть»	72	10	80	92	1580
«Сиазаннефть»	115	23	42	79	2820

рой начинается массовая кристаллизация парафина. Воздействие этих полей на так называемую безводную нефть (в которой очень мало воды) проявляется в том, что интенсивность образования отложений уменьшается на 25—30%, при воздействии на обводненную нефть — примерно на 50%. Чем больше воды в нефти — тем существеннее эффект. При этом возрастают вязкость и электропроводность нефти и снижается поверхностное натяжение, изменяется состав и структура отложений. Вместо твердой трудно разрушаемой массы образуется мазеобразная, легко разрушаемая масса. Все это свидетельствует о целесообразности применения магнитной обработки для уменьшения отложений смол и парафинов.

Описанные выше работы получили дальнейшее распространение. Ш. Н. Алиев и Д. М. Агаларов провели дополнительные исследования, разработали ряд конструкций магнитных устройств, помещаемых в скважинах, испытали их на различных нефтяных месторождениях [177]. Состав исследованных вод колебался в широких пределах; общая жесткость составляла 13—532 мг-экв/л, карбонатная жесткость 5,7—62 мг-экв/л; содержание железа изменялось от 57 до 265 мг/л, рН — от 6,2 до 85. Пересыщение растворов карбонатов кальция и магния, составляющих более 85% отложений, обусловлено изменением температуры, давления и смешением вод различных горизонтов. В отличие от вод месторождений Азербайджана, пластовые воды, использованные в этих

Таблица 20. Результаты применения магнитной обработки обводненной нефти в скважинах нефтепромыслов (1971—1975 гг.)

Управление	Номер скважины	Производительность скважины, м <sup>3</sup> /сут		Межремонтный период, сут		Увеличение межремонтного периода, %
		без омагничивания	с омагничиванием	без омагничивания	с омагничиванием	
«Шаимнефть»	512	75,0	74,0	75	360	353
	474	13,1	10,8	60	318	430
	564	16,4	35,0	85	330	283
	527	96,8	114,0	92	303	229
	539	15,3	32,9	95	315	231
	552	178,3	198,3	97	300	209
	563	130,6	131	90	312	246
«Сергиевскнефть»	137	42,0	43,0	185	320	73
	116	68,0	70,0	103	284	175
	168	61,0	39,5	120	180	50
	308	6,8	6,2	72	230	220
	596	6,7	6,7	85	131	53
«Оренбургнефть»	108	94	60	92	105	105
	200	62	60,5	60	182	202
	230	58	61	62	203	235
	255	57	72	36	75	150

исследованиях, содержали в большом количестве гипс и железо.

Роль железа для вод такого состава исследована в работе [178]. Установлено, что при добавлении к воде сернокислого железа эффективность магнитной обработки повышается. Следует отметить, что сернокислое железо само по себе несколько уменьшает отложение гипса. Действие железа авторы данной работы связывают с интенсификацией движения его коллоидных оксидов в магнитном поле.

Результаты промышленных испытаний и внедрения омагничивания пластовых вод других, не Азербайджанских месторождений, приведены в табл. 20.

Данные таблицы еще раз подтверждают целесообразность применения магнитной обработки обводненной нефти. Фактический экономический эффект по сравнению с эффектом химической обработки (использование гексаметафосфата натрия) для одной скважины превышает 1000 руб. в год.

Имеется ряд публикаций, в которых говорится о положительном влиянии магнитной обработки на отложения другого вида. Так, в работе [13, с. 196—197] описаны результаты применения магнитной обработки в производстве натриевой селитры. Образование инкрустаций на стенках выпарных аппаратов уменьшилось, что привело к увеличению теплоотдачи на 2,3% и снижению расходов на их очистку. Аналогичный эффект отмечен в производстве соды [13, с. 201—202]. Уменьшается загипсовывание тарелок приколонков, используемых в производстве аммиака, при этом их пропускная способность возрастает в 4 раза [13, с. 296—298].

В производстве фосфорной кислоты применение магнитной обработки позволило снизить отложения фосфогипса в аппаратуре в 2—4 раза (Воскресенское производственное объединение «Минудобрения»). Обработка сахарного сока и мелассы дала возможность увеличить период между чистками испарителей с 6 до 52 дней. Широкой областью возможного применения магнитной обработки водных систем являются ТЭЦ. Зола ТЭЦ в смеси с водой по многокилометровым трубопроводам выносятся из котельных. При этом в раствор поступает почти неограниченное количество оксида кальция, образующего на стенках прочные отложения; очистка труб от этих отложений требует значительных расходов. В работе [179] показано, что магнитная обработка воды, содержащей золу, способствует значительному уменьшению этих отложений.

Аналогичные результаты получены и В. Г. Зерницким (в нашей лаборатории) на Гомельском химическом заводе. Магнитная обработка нейтрализованных отходов позволила резко сократить отложения в многокилометровом хвостопроводе [250, с. 137]. Таким образом, магнитная обработка растворов является действенным средством борьбы с самыми различными инкрустациями.

#### Экономический эффект

Невысокая стоимость магнитной обработки водных систем (от единиц до сотых долей копеек на 1 м<sup>3</sup>) и значительное уменьшение отложений инкрустаций обуславливают большой экономический эффект от ее примене-

ния. Экономия только на одном небольшом водогрейном котле составляет примерно 10 тыс. руб. в год. На «Саратовгрэс» годовой экономический эффект замены химводоподготовки магнитной обработкой составил 1,3 млн. руб. Обработка подпиточной воды системы обратного водоснабжения на ГРЭС-4 «Харьковэнерго» позволила сэкономить 18 тыс. руб. в год, на Кураховской ГРЭС 15 тыс. руб. в год, на Ростовской ТЭЦ экономия составила 20 тыс. руб. в год, годовой эффект на Старобешевской ГРЭС составил 200 тыс. руб. [24, с. 117].

Простейшие магнитики, установленные в 120 скважинах «Азнефть», приносят 75 тыс. руб. дохода в год и позволяют сэкономить 50 км труб. Обработка пластовой воды в объединении «Казморнефть» позволяет сэкономить 83 тыс. руб. в год. По данным НИИсантехники, экономический эффект для самого небольшого отопительного котла составляет 300—500 руб. в год [174, с. 139]. Годовой эффект от применения магнитной обработки воды, поступающей в отопительные котлы Владивостокского порта, составляет 50 тыс. руб. [24, с. 111—114]. По данным Государственного института азотной промышленности, ожидаемый годовой экономический эффект только на компрессорах приближается к 10 млн. руб.

Значительный экономический эффект от применения омагничивания воды ожидается в теплоэнергетике. Магнитная обработка воды стоит в 20—10 раз меньше, чем химическая очистка. Около пяти тысяч крупных и средних котельных расходуют около 2 млн. т поваренной соли для химической очистки воды. Так что экономический эффект от применения магнитной обработки составит несколько млрд. руб. в год. Ежегодно на выработку тепла расходуется примерно 450 млн. т условного топлива; 30% этого количества приходится на небольшие котельные. Использование магнитной обработки воды хотя бы на половине таких котельных позволит сэкономить не менее 10 млн. т условного топлива в год.

### **3. ФЛОТАЦИОННОЕ ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Возможность использования магнитной обработки технической воды, пульпы и воды, содержащей различные реагенты, для улучшения флотации была отмечена нами

в 1965 г. [180]\*. С тех пор проведено много исследований, причем объектами обработки являлись как вода и пульпа, так и водные растворы реагентов.

#### Магнитная обработка воды и пульпы

При магнитной обработке воды и пульпы обычно получаются близкие результаты, однако при обработке пульпы они являются более четкими и стабильными. Возможно, это зависит от постоянства и характера ионного состава жидкой фазы пульпы, находящейся в равновесии с растворенными в той или иной степени в воде минералами.

Причины улучшения флотации после магнитной обработки воды и пульпы находятся еще в стадии изучения. В первом приближении установлено, что после такой обработки изменяется сорбция минералами флотационных реагентов. Н. Ф. Зубкова и Р. Л. Попов провели опыты с группой минералов (галенитом, сфалеритом, кальцитом и др.), в которых исследовали флотируемость этих минералов и сорбцию ими ксантогената после предварительной обработки суспензии (до подачи в нее реагента) [181]. Они получили несколько неожиданные результаты. Флотация сульфидных минералов улучшилась. Однако количество ксантогената, закрепившегося на этих минералах, не только не возросло, но даже уменьшилось. Следовательно, происходит увеличение гидрофобизирующих свойств реагента, находящегося на поверхности минералов. Возможно, это связано с оптимальным переводом ксантогената в диксантогенид с участием кислорода, количество или активность которого в омагниченной пульпе возрастает. Это подтверждается облегчением десорбции собирателя с минералов в случае омагничивания пульпы (известно, что диксантогенид закрепляется менее прочно, чем хемосорбирующиеся ионы ксантогената).

Ниже рассмотрены результаты, полученные отдельными исследованиями.

В институте «Механообр» О. П. Бондаренко подвергала магнитной обработке техническую воду, подаваемую на измельчение и флотацию, и пульпу перед кон-

---

\* Авт. свид. СССР, № 173636, 1965 г.

Таблица 21. Влияние магнитной обработки технической воды и пульпы на флотацию карбонатной марганцевой руды

Условия обработки	Напряженность поля, кА/м	Время флотации, мин	Концентрат, %		
			выход	содержание марганца	суммарное извлечение марганца
Без обработки	0	3	30,0	15,9	31,1
	0	6	29,1	19,2	69,1
Обработка воды	48	3	44,6	19,3	56,6
	48	6	30,0	17,8	91,6
	135	3	47,7	19,2	60,8
	135	6	28,3	17,4	93,5
Обработка пульпы	48	3	50,9	20,2	67,8
	48	6	24,5	15,3	92,6
	215	3	53,4	20,3	70,6
	215	6	22,8	15,6	93,6

тактом с собирателем. Напряженность магнитного поля варьировалась в пределах 48—215 кА/м; применялась двенадцатикратная обработка. Опыты показали, что в обоих вариантах обработки значительно возрастает скорость флотации карбонатной марганцевой руды Чиатурского месторождения (табл. 21 [182]). В течение первых 3 мин после обработки в концентрат извлекается в 2—4 раза больше марганца, чем при обычном способе. Одновременно повышается и селективность флотации — концентрат получается значительно богаче марганцем. Суммарное извлечение марганца через 6 мин флотации сильно возрастает — с 70 до 91—93,5%. Несколько лучшие результаты получены после обработки пульпы.

К. Ковачев и Г. Клисуранов [183] провели обстоятельное исследование возможности улучшения флотации медно-молибденовой руды и каменного угля магнитной обработкой технической воды и пульпы. Достижимый эффект зависит от состава воды, напряженности поля и скорости потока жидкости. Опытами в лабораторных и промышленных условиях (на фабрике «Медет», НРБ) установлено, что магнитная обработка воды и пульпы приводит к увеличению скорости флотации на 20—30% и значительному повышению извлечения меди и молибдена в концентрат. На фабрике извлечение возрастает на 2,4% (лучшие результаты). В лабораторных

Таблица 22. Результаты промышленных испытаний магнитной обработки пульпы при флотации медно-молибденовой руды (фабрика «Медет», БНР)

Показатели	Без магнитной обработки	После магнитной обработки
Переработано руды, т	21890	23900
Извлечение, %		
меди	77,21	79,99
молибдена	78,84	85,79
Прирост извлечения, %		
меди	—	+2,78
молибдена	—	+6,95

условиях эта величина несколько выше. Результаты промышленного эксперимента на фабрике «Медет» приведены в табл. 22.

П. Илие, И. Поп и Д. Шолози установили, что лучшие результаты получаются при обработке пульпы перед флотацией медно-свинцовых и золотосодержащих руд. Извлечение меди после обработки возрастает с 64 до 79%; извлечение золота увеличивается с 78,0 до 82,2% [184].

Заметное повышение извлечения в концентраты ряда минералов цветных металлов при флотации с использованием ксантогената (свинцово-цинковой руды) и жирных кислот (окисленной свинцовой руды) после магнитной обработки пульпы отмечено в работе Ч. Александрова, С. Димитровой, Я. Проданова [185], которые проводили опыты в лабораторных условиях, особенно заметен эффект при малых расходах собирателя. Отмечено также значительное колебание результатов.

А. Иозеф, Г. Було, М. Арафа и Б. Фараг изучали в лабораторных условиях влияние магнитной обработки мономинеральных водных суспензий на последующую флотацию. Они установили, что прирост извлечения не зависит от магнитной восприимчивости минерала. Так, флотация ферромагнитного минерала ильменита улучшается в меньшей степени, чем парамагнитного пиролюзита (извлечение последнего возрастает на 30%). Флотуемость кальцита, наоборот, при определенном режиме обработки снижается (это имеет важное значение, так как кальцит должен оставаться в отходах флотации).

Отмечено, что действие магнитных полей в некоторых случаях может быть связано с коагуляцией или пептизацией твердых частиц [186].

Магнитная обработка пульпы перед флотацией пирита на Среднеуральской обогатительной фабрике позволила повысить его извлечение на 4,8%; скорость флотации возросла на 14—18%. При этом наблюдалось усиление собирательного действия ксантогенатов. Зависимость этих эффектов от величины напряженности поля имеет полнэкстремальный характер [13, с. 115—117]. Обработка пульпы в аппаратах института «Казмеханобр» на секции Джекказганской фабрики, предназначенной для обогащения окисленных медных руд по комбинированной схеме, позволила повысить извлечение цементной меди на 5% (от операции) [13, с. 121].

Имеются данные исследований магнитной обработки пульпы, проведенных и на других обогатительных фабриках. Так, на Салаирской фабрике В. Ф. Заречнева и Н. Н. Калмыков промышленными опытами установили, что при магнитной обработке пульпы извлечение свинца в грубый концентрат возрастает на 2%. Однако извлечение цинка остается на прежнем уровне. Не получены положительные результаты на Балхашской и Кентаусской фабриках; лишь временный эффект был достигнут на Алтын-Топканской фабрике. Причины отсутствия эффекта четко не установлены.

Институтом «Казмеханобр» (В. Е. Зеленковым, Ю. П. Черновым и Г. С. Агафоновой) были проведены большие работы в области омагничивания пульпы и технической воды на ряде обогатительных фабрик Казахстана с применением аппаратов циклонного типа. Результаты исследований приведены в табл. 23. Следует подчеркнуть, что технологические опыты сочетались с изучением происходящих физико-химических процессов.

В некоторых случаях применение магнитной обработки оборотной воды позволило облегчить решение проблемы оборотного водоснабжения предприятий. Например, на Джекказганской обогатительной фабрике, ранее обогащавшей только сульфидные медные руды, с пуском секции, перерабатывающей окисленные руды, резко (в 1,5 раза) возросла концентрация солей в воде, что привело к значительному снижению эффективности флотации. Качество оборотной воды удалось несколько

Таблица 23. Результаты опытного применения магнитной обработки водных систем на обогатительных фабриках Казахстана

Фабрика	Год промышленного испытания	Обрабатываемая система	Увеличение степени извлечения, %	Годовая экономия, тыс. руб.
Текелийская свинцово-цинковая	1968	Растворы ксантогената, медного и цинкового купоросов (8 аппаратов)	0,446 (свинца)	82
Джезказганская медная № 1	1968	Содовый раствор ксантогената (2 аппарата)	0,2 (меди)	20
Джезказганская медная № 2	1968	Пульпа (4 аппарата)	1,5 (цементной меди)	102
Карагайлинская	1970	Техническая вода, раствор ксантогената (2 аппарата)	1 (свица) 1 (барита)	31
Майканнская	1969	Техническая вода и растворы ксантогената и цинкового купороса (3 аппарата)	1,5 (меди) и 2,0 (свинца)	20
Джезказганская медная № 2	1973	Техническая вода (8 аппаратов)	0,22 (меди)	58

улучшить добавками извести, но этого оказалось недостаточно. Лучшие результаты были достигнуты после магнитной обработки известкового раствора и, особенно, пульпы, поступающей на флотацию, с последующим добавлением извести (рис. 89) [187].

Имеются сведения о том, что магнитная обработка пульпы благотворно влияет не только на флотацию руд, но и на флотацию углей. Г. А. Демин, А. А. Ельников и В. А. Койбаш подвергали обработке полями невысокой напряженности (до 1,6 кА/м) пульпы Пролетарской углеобогатительной фабрики. Они установили возможность существенного (на 6—7%) повышения выхода флотационного концентрата [188]. М. Е. Офенгсден, используя радиометрический метод, показала, что в омагниченной воде сорбция керосина (реагента — собирателя) на угле возрастает [13, с. 158], что интенсифицирует флотацию угля.

Рис. 89. Изменение концентрации солей в жидкой фазе хвостов флотационных машин Джезказганской обогатительной фабрики:

1 — в обычных условиях; 2 — после добавления извести (2,5 кг/т); 3 — после магнитной обработки известкового раствора; 4 — после магнитной обработки пульпы с последующим добавлением извести (2,5 кг/т).



Б. Б. Конар, К. А. Кини и Г. Г. Саркар опубликовали результаты опытов флотации угля в омагниченной воде (дистиллированной и водопроводной) и в растворах хлоридов щелочных металлов. Они установили, что наибольший прирост выхода флотационного концентрата (на 7%) без снижения качества концентрата достигается при добавлении к воде хлористого калия, хотя добавление хлоридов натрия, кальция и магния также дает положительный эффект (табл. 24). Максимальный эффект достигается при оптимальной концентрации соли 2—4 г/л (табл. 25) [189].

Л. И. Бускин, Н. А. Макаревич и Н. Н. Тетерина установили возможность значительного улучшения флотации калийных руд магнитной обработкой насыщенных растворов хлористого калия и хлористого натрия, в которых осуществляется флотация силвинита (KCl). В полупромышленных условиях показано, что после магнит-

Таблица 24. Влияние магнитной обработки растворов хлоридов щелочных металлов на флотацию угля

Добавляемый к воде хлорид	После магнитной обработки		Без магнитной обработки	
	выход концентрата, %	зольность концентрата, %	выход концентрата, %	зольность концентрата, %
Натрия	77,2	17,3	73,4	17,1
Калия	78,6	17,0	71,1	17,3
Кальция	77,8	17,4	74,2	17,2
Магния	73,7	17,1	70,5	16,7

Таблица 25. Влияние концентрации раствора хлорида натрия на изменение флотации угля после магнитной обработки раствора

Концентрация раствора, г/л	После магнитной обработки		Без магнитной обработки	
	выход концентрата, %	зольность концентрата, %	выход концентрата, %	зольность концентрата, %
0,8	73,1	17,1	70,0	17,0
2,0	76,9	17,3	71,5	17,2
4,0	78,0	17,4	71,0	16,9
6,0	70,1	16,9	68,2	16,7

ной обработки оборотного раствора извлечение КС1 повышается на 1,2—1,4%. Такой результат сохраняется в течение нескольких часов после выключения аппарата. Омагничивание раствора также сказывается на его поверхности натяжения. Эффекты хорошо воспроизводятся, но получаются при определенных напряженностях поля.

Получены в лабораторных условиях положительные результаты и при флотации алунитовых руд Закарпатья [190]. После подбора оптимального режима обработки водопроводной воды содержание алушита в пенном концентрате повысилось с 48 до 51,6%, а извлечение — с 81,3 до 87,6%. Омагничивание пульпы дало, примерно, такой же эффект.

Своеобразный эффект получен В. И. Брагиной и С. А. Марковой, подвергавших магнитной обработке пенный продукт, полученный при флотации фосфоритов Телекского месторождения. При оптимальном режиме обработки значительно улучшаются характеристики пены: ее объем уменьшается на 76%, устойчивость — на 77%. Скорость осветления пульпы после этого возрастает в 1,6 раза.

Интересные данные приведены Л. Д. Скрылевым и Т. З. Тригубенко в области ионной флотации (весьма перспективное новое направление) [191]. Магнитной обработке подвергали растворы хлоридов никеля, кобальта и меди. Результаты опытов подвергали статистической обработке, показавшей 95%-ную вероятность того, что ошибка прироста извлечения и скорости флотации не превышает 1—2%. Установлено заметное влияние омагничивания растворов на извлечение металлов и скорость

флотации (на 3—4%). Зависимость эффектов от напряженности поля — полнэкстремальная.

В последнее время А. Л. Дрояронов, В. Е. Зеленков, Ю. К. Чернов и В. И. Классен заметили, что активация флотации магнитной обработкой пульпы наиболее заметна при предварительном оптимальном пересыщении раствора газами (2—5% к равновесному состоянию). Можно предположить, что это способствует возникновению на гидрофобных частицах микропузырьков — активаторов так называемого коалесцентного механизма минерализации пузырьков, исследованного нами ранее. При большем пересыщении раствора образуются крупные, неэффективные для флотации пузыри [250, с. 16, 33].

#### Магнитная обработка водных растворов флотационных реагентов

Такую обработку легко осуществить, поскольку объем обрабатываемой жидкости невелик (несколько метров кубических в час). Но опыты показывают, что ее не следует противопоставлять обработке воды и пульпы: можно одновременно обрабатывать и растворы реагентов, и пульпу.

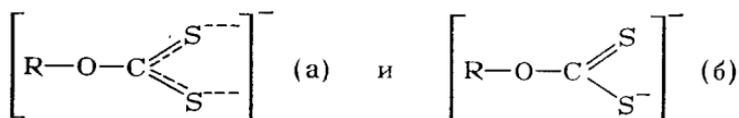
Исследовано влияние магнитной обработки на разные реагенты — собиратели и регуляторы флотации. Исследования проводили в основном с ксантогенатами и жирными кислотами, поскольку их применяют для флотации почти всех сульфидных и несульфидных минералов. Из реагентов — регуляторов большее внимание уделяли наиболее универсальному — жидкому стеклу.

М. А. Орел, Л. Б. Волошина, Э. А. Арипов и С. Ш. Розенфельд установили, что после магнитной обработки водного раствора бутилового ксантогената калия некоторые характеристики раствора изменяются. Возрастает удельная вязкость раствора и снижается его электропроводность. Отмечено изменение ИК-спектра: возрастает интенсивность поглощения в области  $1041\text{ см}^{-1}$ , характеризующей колебания группы  $\text{C}=\text{S}$  в ксантогенате; увеличивается магнитная восприимчивость раствора. По мнению авторов, это является следствием изменения электролитической диссоциации ксантогеновой кислоты и образования димеров типа диксантогенида [13, с. 148—154]. Сведения об изменении электропроводности рас-

творов бутилового ксантогената содержатся в работе А. Н. Гребнева, В. И. Классена, Л. К. Стефановской и В. П. Жужговой [13, с. 135].

Г. С. Агафонова исследовала влияние магнитной обработки на свойства водного раствора ксантогената в присутствии кальцинированной соды [24, с. 227—229; 192]. Экспериментально установлено, что при добавлении соды (2—4 г/л) эффект магнитной обработки стабилизируется и усиливается. Существует предположение, что при изменении pH раствора изменяется степень диссоциации ксантогеновой кислоты, образующейся в результате гидролиза ксантогенатных ионов. В этих условиях действие магнитных полей заметно. Это предположение было проверено сравнением электронных (УФ) спектров поглощения растворов ксантогенатов до и после омагничивания. Эти спектры отражают внутримолекулярные взаимодействия, связанные с перераспределением электронной плотности в молекуле. Опыты убедительно показали, что после магнитной обработки значительно (на 7% абс.) возрастает интенсивность поглощения (частота максимума поглощения для группы C=S не изменяется). Можно предположить, что после обработки электроны от двух равноценных атомов серы переносятся к одному атому серы в ксантогенате, что увеличивает количество групп C=S в растворе.

Известно, что молекула ксантогената в растворе диссоциирует с образованием ионов двух форм



В ионах формы (а), количество которых после омагничивания возрастает, ослаблена связь серы с ядром, поэтому появляется возможность возникновения более сильной связи с металлами минералов, что приводит к усилению собирательных свойств ксантогената.

Прямые определения влияния магнитной обработки раствора этилового этилксантогената с меченой серой  $\text{S}^{35}$  на сорбцию реагента сульфидным минералом, выполненные радиометрическим методом, показали значительное увеличение степени сорбции ксантогената на пирите (табл. 26). Экстремальные эффекты достигаются при определенных напряженностях магнитного поля. Увеличение степени адсорбции (в 2—3 раза) обычно заметно на крупных частицах. На тонких частицах степень адсорбции возрастает в 1,5—1,7 раза [193].

Увеличение сорбции ксантогената на сульфидных минералах после магнитной обработки раствора проявляется также в изменении флокуляции и флотации частиц. Г. А. Агафонова и Г. С. Бергер показали, что после магнитной обработки растворов ксантогената

Таблица 26. Изменение сорбции моченого ксантогената на частицах пирита различной крупности после магнитной обработки раствора ксантогената (расход последнего 100 г/т), г/т

Класс крупности, мм	Напряженность магнитного поля, кА/А				
	0	80	152	207	228
—140+100	17	39	45	—	50
—100+74	23	35	31	—	27
—74+44	36	46	42	—	42
—44+20	28	28	34	47	37

скорость оседания суспензии халькопирита возрастает на 5—8% (эффект проявляется и в присутствии такого мощного флокулянта, как полиакриламид) [192, 194]. Они установили, что при магнитной обработке скорость прилипания единичных зерен минералов к пузырьку воздуха возрастает примерно на один порядок, что обусловлено усилением гидрофобизации поверхности частиц ксантогенатом. Все это создает предпосылки для образования во флотационных машинах аэрофлокулов, а аэрофлокулярная флотация, согласно подробным исследованиям Г. С. Бергера, является наиболее эффективной. В присутствии соды скорость флотации возрастает, увеличивается также извлечение минералов в пенные продукты.

Магнитную обработку водных растворов ксантогената в течение ряда лет с успехом применяли на ряде крупных обогатительных фабрик. Например, применение этого метода на Текелийской свинцово-цинковой фабрике (с 1968 г.) позволило увеличить извлечение свинца на 0,44%, а на Джекказганской фабрике № 1 — на 0,2% извлечение меди. На Среднеуральской фабрике внедрение метода дало возможность увеличить извлечение меди на 0,5%.

Влияние магнитной обработки на свойства растворов реагентов — собирателей, применяемых при флотации несulfидных минералов, изучалось на олеате натрия (с карбоксильно полярной группой), гексадецилсульфате натрия и порошке «Новость» (с сульфогруппой).

Опыты А. Н. Гребнева, В. И. Классена, Л. К. Стефановской и В. П. Жужговой показали, что магнитная обработка растворов этих реагентов приводит к изме-

нению их физико-химических свойств [13, с. 140—145]. При определенных напряженностях магнитного поля в омагниченной воде растворимость гексадецилсульфата натрия возрастает на 18%, а порошка «Новость» — в три раза. Обработка водного раствора этого реагента при оптимальном режиме приводит к увеличению электропроводности на 4—7%. При этом оптическая плотность раствора снижается. Эти данные свидетельствуют о том, что магнитная обработка растворов, склонных к мицеллообразованию, так называемых «длинноцепочечных» собирателей (имеющих относительно длинный углеводородный радикал), приводит к диспергированию мицелл и повышению доли собирателя, находящегося в растворе в ионной форме. Собирательная активность реагентов возрастает.

В описываемой работе не обнаружено изменения характеристик чистой (не растворенной) олеиновой кислоты (ИК-спектра и водного числа). Опытами М. А. Орла, И. В. Лапатухина, В. И. Классена и других показано, что при воздействии магнитного поля на твердый аморфный олеат натрия его ИК-спектр также остается без изменения. Однако при омагничивании водного раствора этого реагента заметно изменяются симметричные ( $1472\text{ см}^{-1}$ ) и асимметричные ( $1570\text{ см}^{-1}$ ) валентные колебания карбоксильной группы, что свидетельствует об усилении связи молекул олеата натрия с водой. Это может приводить к более полной диссоциации олеата натрия. Таким образом, методом ИК-спектроскопии также показано, что магнитная обработка водного раствора собирателя с карбоксильной полярной группой приводит к увеличению количества его флотационно-активного аннона (в данном случае  $[\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COO}]^-$ ).

Прямыми измерениями установлено, что при магнитной обработке водных растворов собирателей с карбоксильной полярной группой их сорбция на поверхности минералов возрастает (табл. 27) [195]. При этом не только увеличивается сорбция собирателя минералами, но и возрастает устойчивость закрепления реагента. Это справедливо, поскольку процесс сопровождается хемосорбцией аннонов собирателя. Полученные результаты хорошо согласуются с установленным изменением физико-химических свойств растворов реагентов и суспензий.

Таблица 27. Влияние магнитной обработки водных растворов олеата натрия на его сорбцию (г/т) и устойчивость закрепления на минералах

Минерал	Расход олеата натрия, г/т	Напряженность магнитного поля, к.Л/м				
		0	80	152	207	228
<i>Без отмывки порошка водой</i>						
Алунит	250	186	201	205	211	217
Флюорит	250	205	215	223	218	213
Кальцит	300	143	187	176	161	151
Кварц	500	167	176	191	210	243
Доломит	300	140	194	199	182	180
Фосфат	800	208	290	287	238	230
Фосфат	1000	348	432	434	444	426
<i>После двукратной отмывки порошка водой</i>						
Алунит	250	165	170	179	175	168
Флюорит	250	116	148	164	164	146
Кальцит	250	60	80	100	125	80
Кварц	500	93	116	152	127	132

После контакта с олеатом натрия минералов, находящихся в омагниченной суспензии, снижается теплота их смачивания водой, а также оптическая плотность раствора.

Получены положительные результаты омагничивания и других видов реагентов — собирателей. Так, установлено, что магнитная обработка водной эмульсии поверхностно-активного реагента масла X способствует значительному улучшению флотации каменного угля. При этом на 0,7% снижается зольность концентрата и на 1,7% возрастает зольность хвостов. Общая эффективность флотации (по М. В. Циперовичу) возрастает с 708 до 774. Вариабельность эффекта не выходит за пределы 10%, что подтверждает достоверность этих данных, полученных в промышленных условиях [196].

Магнитная обработка растворов реагентов — собирателей при флотации несulfидных минералов пока еще не нашла практического применения.

Опыты магнитной обработки растворов реагентов — регуляторов проводили в основном с жидким стеклом (растворимый силикат натрия), являющимся почти универсальным подавителем флотации и регулятором

свойств пены. Известно, что флотационные свойства жидкого стекла зависят от степени его полимеризации [143]. Выше (см. п. 2, гл. II) было рассмотрено влияние магнитной обработки на растворы жидкого стекла.

М. А. Орел с соавторами [195] опытами, проведенными в промышленных условиях, показали, что при магнитной обработке раствора жидкого стекла извлечение флюорита из силикатной плавикошпатовой руды возрастает на 2,6% (при этом качество концентрата не ухудшается). Отмечено также улучшение сорбции олеата натрия.

Б. С. Лахтер, М. Т. Цапков, М. А. Орел и П. П. Сивер, проводившие опыты по флотации фосфоритовой руды на Брянском заводе, установили, что магнитная обработка смеси растворов жидкого стекла и мыла позволяет значительно увеличить извлечение фосфата в концентрат [13, с. 155—167]. М. А. Орел, Л. Б. Волошина, И. В. Кагарлицкая, С. Ш. Розенфельд и Э. А. Арипов, установившие целесообразность применения смеси жидкого стекла с ксантогенатом, отметили, что магнитная обработка такой смеси активизирует флотацию [13, с. 148—154]. Г. С. Агафонова и Б. С. Лахтер получили положительные результаты, подвергая магнитной обработке раствор жидкого стекла в присутствии ионов меди или алюминия (вызывающих, по данным В. А. Мокроусова, образование металлосиликатных гелей).

П. И. Андреев, Ю. А. Быков, Н. М. Анищенко, Т. В. Николаева нашли, что омагничивание водных растворов жирнокислотных фракций таллового масла обеспечивает прирост содержания алунита в концентрате на 4,5% и извлечение — на 8,1% [190].

Рядом лабораторных исследований установлена целесообразность магнитной обработки водных растворов других реагентов — регуляторов. В институте «Казмеханобр» проведены опыты с растворами медного и цинкового купороса. Установлено, что при магнитной обработке количество, дисперсность и форма взвесей, возникающих во флотационных системах (см. п. 1, гл. II), изменяются, и в определенных условиях это может привести к улучшению показателей флотации. Н. В. Кирбитова, В. И. Классен, Н. И. Елисеев и Н. Г. Пирамидина показали, что при обработке водной суспензии галенита скорость флотации возрастает [106].

Н. И. Елисеев, З. А. Оглоблина и В. М. Хоревич установили, что магнитная обработка водных растворов азотнокислого свинца позволяет значительно активировать флотацию кварца с помощью олеата натрия, поскольку изменяются условия образования и осаждения гидроксидов металлов [13, с. 122—126]. Однако, несмотря на отмеченные положительные результаты лабораторных исследований, магнитная обработка водных систем пока не получила должного распространения на флотационных фабриках. Это объясняется рядом причин: неравномерностью технологического процесса, затрудняющего выявление результатов обработки, отсутствием серийно выпускаемых аппаратов и недооценкой метода.

Потенциальный экономический эффект, который может быть достигнут при повсеместном применении магнитной обработки водных систем для улучшения флотации, пока трудно точно определить, но несомненно, он составит несколько десятков миллионов рублей.

Практическое использование магнитной обработки водных систем для улучшения флотации — совершенно недостаточно. Учитывая приведенные в этом разделе данные, этому трудно найти разумное объяснение.

#### 4. СГУЩЕНИЕ И ФИЛЬТРОВАНИЕ СУСПЕНЗИЙ

Выделение из воды тонкодисперсных твердых взвесей их коагуляцией и фильтрованием широко применяют во многих технологических процессах — в различных химических и металлургических производствах, при обогащении полезных ископаемых и очистке сточных и оборотных вод. Возможность значительной интенсификации процессов сгущения и фильтрования магнитной обработкой основана на улучшении коагуляции и уменьшении образования инкрустаций, описанных в п. 2, гл. II. При коагуляции взвесей скорость оседания их повышается, при этом возрастает и водопроницаемость кека на фильтрах. С уменьшением забивки пор фильтроткани скорость фильтрации повышается и срок службы ткани увеличивается.

Следует подчеркнуть, что применение магнитной обработки для интенсификации сгущения ни в коей мере не противопоставляется использованию для этой цели

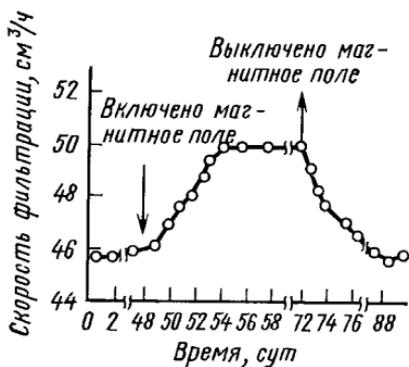


Рис. 90. Влияние магнитной обработки воды на ее проникновение через слой кварцевого песка (время в часах).

различных коагулянтов и флокулянтов. Магнитная обработка ценна тем, что к воде можно не добавлять реагенты (часто вредные для последующего использования воды).

Магнитная обработка бывает выгодна и в сочетании с применением коагулянтов и флокулянтов.

А. М. Байрамовым, А. М. Мамед-заде, В. М. Михайловым и В. Д. Неретиним проведены опыты на установке, представляющей собой емкость, заполненную люберецким кварцевым песком, к которому было добавлено 5% бентонитовой глины, техническая вода подавалась на эту смесь под постоянным давлением и измерялось количество воды, прошедшей за единицу времени сквозь слой песка. На питающей трубе был установлен электромагнит. Скорость потока воды 18—20 см/мин, время ее нахождения в поле 30 с. Пористость слоя песка 34%, проницаемость 2 дарси.

В течение 2 ч стабильная скорость фильтрации составляла 45,4 см³/ч (рис. 90). После включения электромагнита скорость в течение 3 ч постепенно увеличивалась и, достигнув 50 см³/час, устойчиво держалась на этом уровне в течение 1 ч. После выключения электромагнита скорость фильтрации резко снижалась, достигая через 4—6 ч начального значения [197].

Сгущение суспензий после их омагничивания проверено в промышленных условиях на ряде предприятий. Первые успешные промышленные испытания были проведены на углеобогатительной фабрике шахты № 38 (в Караганде) [198] с использованием аппарата типа АМО (см. рис. 72). Оптимальная напряженность магнитного поля составила 35,8 кА/м, скорость потока 2,0 м/с. Твердая фаза шламов была представлена глинистым материалом, содержавшим 10—15% углистых частиц и немного гипса и кальцита. Количество частиц размером менее 44 мкм составляло 65%. Результаты

Таблица 28. Результаты промышленных испытаний магнитной обработки шламов на углеобогадательной фабрике в Караганде

Показатели	Без магнитной обработки		После магнитной обработки (без полиакриламида)
	без полиакриламида	с полиакриламидом	
Содержание твердого, г/л:			
в питании	103	108	118
в сливе сгустителя	48	50	5
в сгущенном продукте	169	112	187
Эффективность осветления, %	53,4	54,0	95,5

магнитной обработки сопоставлялись с результатами, полученными при применении полиакриламида (при большом количестве фракций с частицами, размеры которых составляют микрометры; этот флокулянт мало улучшает процесс флокуляции). Данные длительных промышленных испытаний приведены в табл. 28.

Аналогичные промышленные испытания были проведены на углеобогадательной фабрике им. Артема [199]. Магнитную обработку осуществляли двумя аппаратами типа АМО производительностью по 250 м<sup>3</sup>/ч каждый. Шлам состоял из глинистого сланца (56%) и малозольного угля (42%). Содержание твердого в сливе сгустителей не превышало 50 г/л. Результаты этих испытаний (табл. 29) позволили выявить оптимальную напряженность магнитного поля (31,8 кА/м). Как видно из табл. 30, после магнитной обработки эффективность сгущения значительно повышается, возрастает степень улавливания тонких фракций, увеличивается плотность осадка и снижается содержание твердого в циркулирующей воде\*.

Длительные промышленные испытания аппаратов АМО проведены на Брянском фосфоритном заводе. Цель этих испытаний состояла в том, чтобы снизить потери тонкодисперсного фосфата со сливами радиаль-

\* Несмотря на положительные результаты, магнитная обработка шламов перед сгущением не получила пока должного распространения на предприятиях угольной промышленности.

Таблица 29. Результаты промышленных испытаний метода магнитной обработки шламов углеобогатительной фабрики и.к. Артема (Донбасс)

Продукт	Без магнитной обработки		После магнитной обработки	
	содержание твердого, г/л	количество частиц размером менее 74 мкм, %	содержание твердого, г/л	количество частиц размером менее 74 мкм, %
Питание сгустителя	207	42,2	142	52,0
Слив сгустителя	134	60,1	47	38,5
Сгущенный продукт	836	5,7	961	10,5
Эффективность сгущения, %	35	—	67	—

ных сгустителей. Производительность каждого аппарата АМО составляла 100 м<sup>3</sup>/ч. Оптимальная напряженность магнитного поля 279 кА/м, скорость потока пульпы 2,5 м/с. Аппараты АМО поочередно устанавливали перед одним из двух сгустителей диаметром 15 м каждый. Результаты испытаний приведены в табл. 30 [24, стр. 232—234].

На рис. 91 приведены данные, показывающие динамику снижения потерь фосфата на Брянском фосфоритном заводе, где в течение ряда лет постоянно работают пять аппаратов типа АМО. Ежегодный доход от применения магнитной обработки составляет около 40 тыс. руб.

Таблица 30. Результаты магнитной обработки фосфоритовой пульпы перед сгустителями на Брянской обогатительной фабрике

Продукт	Без магнитной обработки		С магнитной обработкой	
	содержание твердого, %	количество частиц размером менее 53 мкм, %	содержание твердого, %	количество частиц размером менее 53 мкм, %
Питание сгустителя	25,9	49,3	25,9	46,3
Слив сгустителя	5,04	98,1	3,06	98,2
Сгущенный продукт	42,02	44,2	45,8	47,9

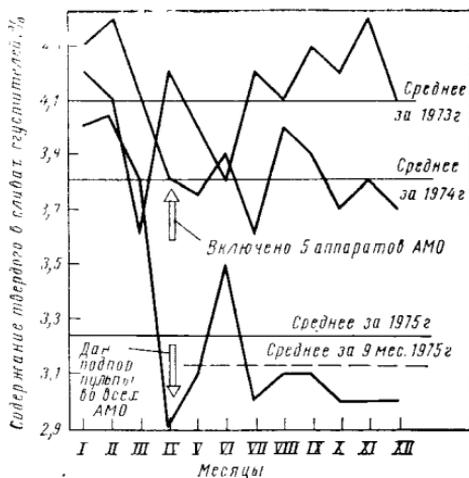
Рис. 91. Снижение потерь тонкодисперсного фосфата со сливами после магнитной обработки питания сгустителей.

Положительные результаты магнитной обработки пульпы отмечены во многих исследованиях — при сгущении: меловых вод гидровскрыши на Курской магнитной аномалии, пиритного флотационного концентрата

(с увеличением скорости оседания в 2—1,6 раза [24, стр. 230—232]), шламовых вод систем мокрого пылеулавливания [24, стр. 130—133]. На никелевых заводах Кубы многие годы применяют аппараты фирмы «Эпюро» для повышения плотности сгущенного продукта. Д. Оцепек (Югославия) получил хорошие результаты при использовании магнитной обработки в процессе сгущения каолина [108].

А. Н. Куценко проводил опыты с глино-песчаными суспензиями, содержащими частицы размером менее 10 мкм. Он установил, что после магнитной обработки скорость оседания частиц возрастает в 1,5—2 раза [200]. Ю. Н. Водяницкий и Е. Ф. Мосьяков также исследовали различные суспензии глин и суглинков. Особое внимание они уделяли изучению свойств получаемых осадков. «Выявлена возможность регулирования прочности намывного глинистого грунта кратковременным воздействием магнитных полей на пульпу в процессе ее движения по трубопроводу. Производственные исследования, проведенные при намыве гидроотвала в Нагатинской пойме р. Москвы, показали упрочнение в 1,5—2,0 раза...» [201]. Наконец, А. И. Шахов, А. В. Ширяев и С. С. Душкин с успехом применили магнитную обработку для осветления воды р. Сев. Донец, питающей харьковскую водопроводную сеть [111, 202].

Суммируя результаты, достигнутые в области сгущения, следует отметить, что они не всегда однозначны.



Некоторые суспензии не реагируют заметно на магнитную обработку. Причины этого не вполне ясны. По-видимому, это связано с зарядом частиц, ионным составом жидкой фазы и с другими важными показателями (см. п. 3, гл. III).

Возможность применения магнитной обработки для улучшения показателей фильтрования впервые была установлена С. И. Полькиным и А. И. Рафленко [203], которые показали перспективность развития этого направления.

В. С. Каминский, В. И. Классен, М. А. Соколова и К. И. Сафронова в полупромышленных и промышленных условиях (на Пролетарской и Чумаковской углеобогатительных фабриках) подвергли магнитной обработке растворы флокулянтов, что позволило повысить производительность вакуум-фильтров на 9—10% [13, с. 247—251].

В более широком масштабе проведены промышленные испытания на обогатительной фабрике № 2 комбината «Апатит». Перед барабанными наливными вакуум-фильтрами, в которые поступал сгущенный апатитовый концентрат, были установлены аппараты АМО. Для определения оптимальной напряженности магнитного поля перед аппаратом АМО и после него отбирали пробы неомагнитченной и омагнитченной пульпы. Скорость фильтрования обеих проб определяли на лабораторном приборе конструкции В. Г. Зерницкого, автоматически фиксирующем массу фильтра, получаемого в каждую единицу времени. Меняя напряженность магнитного поля аппарата АМО, находили ту оптимальную напряженность, при которой отмечалась наибольшая скорость фильтрования.

В первой серии испытаний сравнивали производительность двух промышленных фильтров, перед одним из которых был установлен аппарат АМО производительностью 50 м<sup>3</sup>/ч. Во второй серии испытаний сопоставляли работу двух секций, состоящих из шести фильтров каждая; питание одной из секций подвергали магнитной обработке в аппарате АМО производительностью 250 м<sup>3</sup>/ч. В первой и второй сериях испытаний получены близкие результаты: производительность вакуум-фильтров увеличилась на 9—10% и снизился расход фильтроткани на 12—15%. Ожидаемый годовой эконо-

мический эффект для этого предприятия составляет 170 тыс. руб. Однако отсутствие серийно выпускаемых аппаратов АМО (комбинату «Апатит» их требуется около 50 шт.) не позволило установить их перед всеми фильтрами.

Хорошие начальные результаты получены на Брянском фосфоритном заводе, где магнитной обработке подвергали питание промышленного сгустителя, что позволило увеличить скорость последующего фильтрования сгущенного продукта. Положительные результаты получены также на углеобогатительной фабрике шахты «Доубрава» (Чехословакия), где на два параллельно работающих дисковых вакуум-фильтра подавали сгущенный угольный флотационный концентрат, подвергнутый магнитной обработке. Площадь фильтрующей поверхности каждого фильтра составляла 40 м<sup>2</sup>. Магнитная обработка питания позволила повысить производительность фильтра на 28,4%.

Возможность значительного улучшения фильтрования тонкодисперсных взвесей, полученных после извешивания протокатов, содержащих гидрооксиды тяжелых металлов, установлена Л. Н. Ефановым с соавторами [204]. После обработки при определенных напряжениях магнитного поля (40, 160 и 240 кА/м) в лабораторных условиях было достоверно получено ускорение на 30—40% процесса фильтрования. Но при напряженности магнитного поля 80 кА/м эффект был обратным.

Поскольку рН стоков равно 2, в данном случае в водной системе не могли присутствовать коллоидные частицы железа. Тем не менее эффект омагничивания имел место.

Промышленные испытания на одном из сибирских заводов проводились с помощью аппарата конструкции Казмеханобра (см. рис. 73), который питался пульсирующим током частотой 50 Гц, получаемым выпрямлением переменного тока однополупериодным выпрямителем. Время фильтрования 6 м<sup>3</sup> пульпы, полученной из неомагниченных стоков, составляло 40 мин, из омагниченных 20—25 мин. Повышение скорости фильтрования омагничиванием стоков было устойчивым: в течение 2 месяцев работы параметры фильтрования почти не изменялись.

## 5. ОЧИСТКА ВОДЫ

Огромное экономическое и экологическое значение очистки воды общеизвестно. В большинстве случаев очистка должна осуществляться без добавления специальных реагентов, в свою очередь загрязняющих среду и препятствующих применению замкнутого водооборота. В этом отношении положительная роль магнитной обработки водных систем может быть очень большой.

Применение магнитной обработки для *очистки воды от различных взвесей* проверено не только в лабораторных, но и в промышленных условиях. А. И. Шахов, А. В. Ширяев и С. С. Душкин установили, что после магнитной обработки воды г. Харькова и Основинского водохранилища скорость оседания содержащихся в ней тонкодисперсных взвесей увеличивается на 20—90%. При невысокой мутности воды и низкой температуре достаточна напряженность поля всего 2—8 кА/м [202]. Такой положительный эффект проявляется и в случае добавления к омагниченной воде коагулянтов — сернокислого железа, сернокислого алюминия и др. При этом наблюдается уменьшение электрокинетического потенциала золь гидроксидов алюминия и др. [202, 205]. При очень высокой мутности воды (выше 500 мг/л) эффект незначителен [102].

А. И. Шахов и А. С. Аветисов исследовали возможность магнитной обработки воды р. Днепр после ее известкования. Они воспользовались аппаратом с электромагнитами, в катушки которых подавали постоянный ток импульсами с частотой 2—6 Гц. Аппарат производительностью 100 м<sup>3</sup>/ч был установлен на напорном трубопроводе, подающем воду в цех химической очистки воды Днепродзержинской ГРЭС; известкование проводили по обычной для тепловых электростанций схеме. Наибольшее увеличение скорости оседания взвесей достигалось при частоте пульсаций 6 Гц, т. е. эта частота является оптимальной. Положительные результаты получены и при интенсификации отстаивания бытовых сточных вод. Скорость оседания взвесей возросла в 1,4—2,6 раза [13, стр. 252—256].

Ю. Г. Хохлов (Харьковский институт радиоэлектроники) исследовал очистку воды на водоводе «Днепр — Кировоград» при добавлении сернокислого алюминия с последующей магнитной обработкой. Установлена целе-

сообразность последней, позволяющей повысить качество питьевой воды, снизить расход коагулянта. Это позволяет сэкономить ежегодно около 100 тыс. руб. только по объединению «Днепр — Кировоград» [250, с. 133].

Подвергая магнитной обработке растворы сернокислого алюминия, С. С. Душкин и В. А. Сырова (Харьковский институт инженеров коммунального строительства) значительно улучшили качество осветленной воды, на 25—40% снизили расход этого реагента. Промышленная проверка в 1978—1980 гг. на очистных сооружениях водопровода г. Черкассы показала, что при омагничивании воды на 28—60% снижается содержание в ней взвешенных веществ, на 32—50% уменьшается цветность и др. [250, с. 130].

Л. В. Кучеренко и Н. Ш. Темченко установили возможность улучшения очистки морской воды от нефтепродуктов [250, с. 131].

В. Д. Сушковский («Центроэнергочермет») исследовал возможность улучшения очистки сточных вод гальванического производства. Наиболее значительное увеличение динамической обменной емкости (почти двукратное) наблюдалось при поглощении катионитом из раствора никеля; повышение сорбции ионов кальция и сульфата не превышало 25% [205].

Р. А. Фридман (УкрНИИпластмасс) установила, что магнитная обработка сточных вод производства эпоксидной смолы и многих других органических продуктов позволяет значительно интенсифицировать процессы биохимического окисления. При омагничивании этих вод перед биохимической очисткой значительно (на 30%) повышается степень очистки, снижается ХПК. Кроме того, повышается усвояемость азота в 1,5 раза и ускоряется оседание ила на 25% [250, с. 129].

Очистка промышленных стоков хлорорганического производства химических комбинатов часто затрудняется многокомпонентностью состава сточных вод и высокой дисперсностью примесей. Были проведены опыты по магнитной обработке этих стоков. Исследуемая вода имела общую жесткость 2,8 мг-экв/л, общую щелочность 3,6 мг-экв/л, рН 8,9, общую окисляемость 32,4 мг/л. В ней содержалось следующее количество примесей, мг/л:

Аммиак	1,6	Свободный хлор	513
Железо	2	Взвешенные вещества	80
Оксиды:		Плотный осадок	1263
кальция	61,5		
магния	13		

Опыты показали, что после магнитной обработки скорость оседания тонкодисперсных частиц, осевших ранее со скоростью 0,2 мм/с, возросла более чем вдвое. Одновременно отмечено более интенсивное уплотнение получаемого осадка: после магнитной обработки оно завершается через 3 ч, а без нее — лишь через 5 ч [207].

Пример эффективного применения магнитной обработки растворов для улучшения их очистки от ионов цинка приведен в работе [209], в которой отмечается, что осаждение ионов тяжелых цветных металлов известью и природными карбонатами дает эффект лишь 97—98%. Это не позволяет достичь предельно допустимых норм даже для водоемов санитарно-бытового значения. Магнитная же обработка позволяет интенсифицировать этот процесс. Изменяя напряженность поля в пределах 0,8—8 кА/м, установили, что лучшие результаты получаются при напряженности 4 кА/м. В этом случае достаточно 10 с для очистки до санитарных норм не только фильтрованных, но и декантированных растворов. Следует подчеркнуть, что лучшие результаты были получены при начальном осаждении цинка содой, последующей магнитной обработке и добавлении затем известкового молока (коагулянта). В случае осаждения цинка одним известковым молоком магнитная обработка не приносила ощутимой пользы. Это, вероятно, связано с различными условиями кристаллизации гидрооксидов и основных углекислых солей цинка.

Повышение эффективности очистки воды *методами фильтрации и ионного обмена* после предварительной магнитной обработки раствора установлено несколькими авторами (влияние такой обработки на ионный обмен описано в п. 2, гл. II). Г. М. Иванова провела эксперимент на Новосибирской ТЭЦ № 3. Омагничиванию подвергали воду перед поступлением на механический фильтр (диаметром 3 м) и после него перед поступлением ее в натрий-катионитовый фильтр (диаметром 2,5 м). Вода имела жесткость 1,74 мг-экв/л и щелочность 1,75 мг-экв/л, содержание железа составляло 0,75 мг/л; окисляемость 3,01 мг/л  $O_2$ . Аппарат для магнитной обработки из постоянных магнитов имел производительность 62 м<sup>3</sup>/ч, напряженность поля 88 кА/м.

Результаты более 20 фильтроциклов показали, что поглощение  $SiO_2 + SiO_3^{2-}$  возросло на 167%,  $Fe^{3+}$  — на 329%, органических веществ — на 136%; грязеемкость

Таблица 31. Влияние магнитной обработки на очистку воды на Невинномыском химическом комбинате

Условия обработки	Число фильтроциклов	Средняя производительность Na-фильтров за один фильтроцикл по задержанным солям жесткости, кг	Прирост производительности, %
Без магнитной обработки	73	200,4 ± 19,2	0
Период регулирования обработки	68	223,7 ± 22,8	11,6
При оптимальном режиме обработки	79	259,7 ± 15,4	29,6

увеличилась на 344%. При этом поглощение на катионитовом фильтре возросло на 6% [13, с. 258—261].

Н. С. Иванова, Н. А. Сигалова и С. Л. Водовозов проводили опыты с Na-сульфоуглем, катионитом КУ-2 в Н-форме и с анионитами АН-31 и АВ-17; растворы готовили на дистилляте. После магнитной обработки раствора поглощение магния возрастает, особенно на конечной стадии фильтрования [24, с. 117—119].

В. И. Миценко, К. И. Калининско, В. И. Шмигировский и Н. Н. Наконечная сообщили результаты опытов по интенсификации очистки воды на Невинномыском химическом комбинате, протекающей по схеме хлорирование → введение извести и коагулянта → осветление → фильтрование → катионирование, и на Старобешевской ГРЭС, где очистку ведут по схеме: содово-известковое умягчение → осветление → фильтрование → двухступенчатое катионирование (с применением в качестве фильтрующего материала в первой ступени натрий-сульфоугля и катионита КУ-2 в Н-форме, а во второй ступени — натрий-сульфоугля).

Предварительно регулировали напряженность магнитного поля в электромагнитном аппарате по данным измерения прозрачности воды по кресту.

На Невинномыском химическом комбинате вода имела следующую характеристику:

Общее соледержание, мг/л	130—270
Железо (общее) мг-экв/л	До 0,4
Диоксид углерода (свободный), мг/л	0,5—35
Ионы, мг-экв/л:	
Ca <sup>2+</sup>	1,2—2,1
Mg <sup>2+</sup>	0,3—1,4
Cl <sup>-</sup>	15—45
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	40—140
Взвешенные вещества, мг/л	До 50

Влияние магнитной обработки воды на ее очистку характеризуется данными табл. 31.

При этом прозрачность воды после осветлителей и механических фильтров возросла втрое, а жесткость очищенной воды снизилась на 20%.

На Старобешевской ГРЭС очистке подвергали воду, подогретую до 40 °С. Вода имела следующую характеристику:

Общее солесодержание, мг/л	1900—2500
Хлор, мг/л	240—300
Диоксид углерода (свободный), мг/л	До 7
Ионы, мг-экв/л:	
Ca <sup>2+</sup>	8—10
Mg <sup>2+</sup>	6—8
НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup>	До 300
рН	7—8,5

Магнитной обработке подвергали лишь часть воды. Результаты применения магнитной обработки приведены в табл. 32.

Проведенные промышленные испытания достаточно убедительно показывают, что магнитная обработка дает возможность увеличить производительность ионообменных фильтров на 20—25% [24, с. 120—123].

Таким образом, есть множество примеров целесообразности применения магнитной обработки сточных и оборотных вод. Ряд примеров содержится в гл. IV.

Таблица 32. Влияние магнитной обработки на очистку воды на Старобешевской ГРЭС

Показатели	I ступень				II ступень	
	Na-катионирование		H-катионирование		H-катионирование	
	число фильтроциклов	удельная емкость поглощения, г-экв/л	число фильтроциклов	удельная емкость поглощения, г-экв/л	число фильтроциклов	удельная емкость поглощения, г-экв/л
Без магнитной обработки	816	200±5,3	277	820±32,6	251	154±9,4
После магнитной обработки	807	223±4,6	161	910,5±35,1	160	163,3±8,3
Эффект обработки, %	—	6,6	—	11,0	—	—

## 6. МОКРОЕ УЛАВЛИВАНИЕ ПЫЛИ

Очистка воздуха от тонкодисперсной пыли представляет собой одну из важнейших проблем, решение которых связано с ликвидацией профессиональных заболеваний, таких как например, пневмокониоз. Для очистки воздуха от так называемой витающей пыли, размер частиц которой составляет доли микрометра, в большинстве случаев применяют орошение водой. В горном деле для предотвращения пылеобразования используют мокрое бурение шпуров и нагнетание воды в угольные пласты и горные породы. Однако эти методы не позволяют улавливать пыль в такой мере, в какой это требуется. Несколько большая степень улавливания достигается при добавлении к воде поверхностно-активных веществ (мылонафта, ДБ, ОП-7, ОП-10 и др.). В этом случае улавливание пыли возрастает на 30—45%, однако этого недостаточно для достижения санитарных норм.

Наши исследования влияния магнитной обработки технической воды на ее смачивающую способность, особенно на смачивание кварцсодержащих частиц (п. 2, гл. II), послужили основанием для применения этого метода в процессе пылеочистки. В этом направлении проведены опыты А. О. Сагиновым, Г. Е. Пановым и Ю. Д. Обуховым [95], а также А. Р. Соцким, А. В. Говоровым и В. И. Классеном [210]. Положительные результаты, полученные в лабораторных условиях, были подтверждены результатами в промышленных условиях.

Для изучения захвата частиц пыли капельками воды воспользовались установкой А. Б. Таубмана [13, с. 170—173] (рис. 92). В емкость по штуцеру вдували пыль, через которую проходило строго одинаковое число капель воды. Омагничивание воды проводили аппа-

Таблица 33. Улавливание пыли (г) водой с добавкой ПАВ или после магнитной обработки (лабораторные опыты)

Вода	Пыль	
	породная	угольная
Обычная	1,00	1,00
С добавкой 0,1% ДБ	1,66	2,30
С добавкой 0,1% мылонафта	1,87	1,66
Омагниченная	3,28	2,82

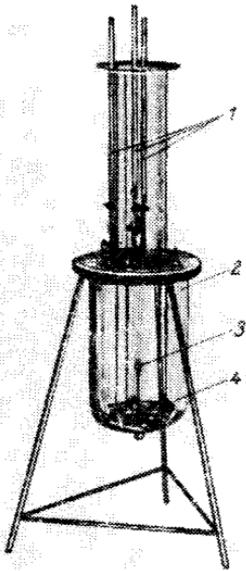


Рис. 92. Установка, моделирующая захват пыли каплями воды:

1 — бюретки с водой; 2 — стеклянная камера; 3 — штуцер для вдувания пыли; 4 — чашечки

ратом ПМУ. Как видно из рис. 93, существует оптимальная скорость потока воды, при которой ее пылеулавливающая способность достигает максимальной величины. Результаты лабораторных опытов приведены в табл. 33. Омагниченная вода гораздо лучше улавливает пыль, особенно породную.

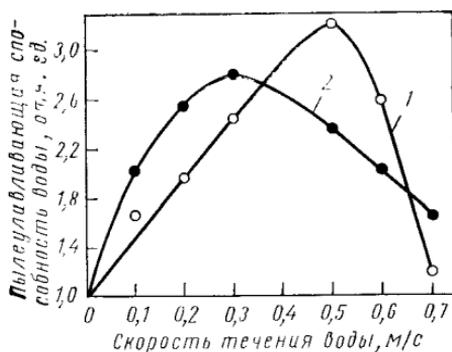
Опыты в промышленных условиях были проведены на шахтах им. В. И. Ленина (выемка угля комбайном КЦТГ) и им. Октябрьской Революции (выемка угля врубовой машиной Урал-33) комбината «Ростовуголь». Для

улавливания пыли были устроены водяные завесы, расположенные в 30 м от лавы. Шахтную воду обрабатывали аппаратами ПМУ. Пробы воздуха брали перед завесой и за ней. Результаты испытаний приведены в табл. 34. Как видно из таблицы, улавливание пыли водой после магнитной обработки (в условиях, близких к оптимальным) улучшается.

Примерно такие же результаты получены в Караганде Н. Ф. Гращенковым, В. В. Суловым и Ж. У. Галиевым. Обработку шахтной воды они также проводили аппаратами ПМУ. Эффективность орошения воздуха водой оценивали по его запыленности на рабочем месте машиниста узкозахватного комбайна, работающего в 4—5 м от завесы. Результаты опытов показали, что при орошении омагниченной водой остаточная запыленность воздуха в 1,5—2,5 раза меньше, чем при орошении водой обычной (рис. 94). Эти же исследователи установили, что омагниченная вода по сравнению с обычной лучше проникает в уголь из нагнетательных скважин (рис. 95). Предварительное увлажнение угля обычной шахтной водой позволяет уменьшить

Рис. 93. Зависимость пылеулавливающей способности подвергнутой магнитной обработке воды от ее скорости:

1 — угольная пыль; 2 — породная пыль.



удельный выход пыли на 82%, а омагниченной водой — на 95%. Результаты промышленных опытов приведены в табл. 35 [24, с. 254].

Результаты опытов по улавливанию рудной пыли приведены в табл. 36 [210]. Как следует из таблицы, при применении омагниченной воды запыленность воздуха снижается в 2—3 раза.

Ю. М. Лавров установил, что на флюоритовых рудниках Забайкалья при омагничивании воды эффективность улавливания пыли возрастает на 35—45%. Еще лучшие результаты получены после омагничивания водных растворов полиакриламида: в этом случае эффективность увеличивается на 60—62% [211]. По сообщению Читинского филиала ВНИИПрозолото, на одном из рудников применение омагниченной воды позволило

Таблица 34. Влияние омагничивания шахтной воды на снижение запыленности воздуха в шахтах Донбасса

Шахта	Вид воды	Скорость течения воды в аппаратах ПМУ, м/с	Снижение запыленности воздуха при орошении водой, %		Эффект магнитной обработки, % (абс.)
			обычной	омагниченной	
Им. В. И. Ленина, выемка угля комбинатом КЦГ	Водопродная	0,33	36,3	54,7	+18,4
		0,48	38,2	55,2	+17,0
		0,66	51,0	51,4	+0,4
		0,85	69,9	66,7	-3,2
Им. Октябрьской революции, выемка угля врубойной машиной	Шахтная	0,33	18,8	33,0	+14,2
		0,48	19,9	40,5	+20,6
		0,66	24,3	57,5	+33,2
		0,85	30,1	46,4	+16,3

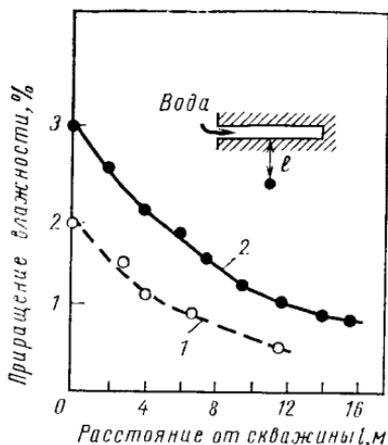
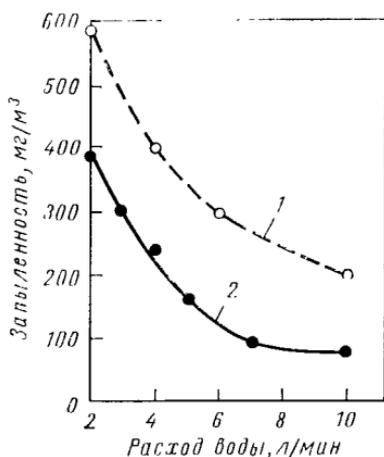


Рис. 94. Изменение запыленности воздуха в шахте после улавливания пыли завесой из обычной (1) и омагниченной воды (2).

Рис. 95. Изменение приращения влажности в угольном пласте при использовании обычной (1) и омагниченной (2) воды.

не только значительно улучшить условия труда, но и достигнуть годовой экономии 100 тыс. руб. Такие же результаты получены на рудниках «Дарасун» и Шахтинского рудоуправления.

Л. М. Ягнышева показала, что при применении магнитной обработки воды и раствора полиакриламида

Таблица 35. Влияние омагничивания шахтной воды, магнетаемой в уголь, на снижение запыленности воздуха в шахтах Караганды

Показатели	Вода шахты «Волынская»		Шахта им. Костенко, расход воды 10 л/т		Шахта им. Костенко, расход воды 15 л/т	
	обычная	омагниченная	обычная	омагниченная	обычная	омагниченная
Влажность увлажненного угля, %	3,13	3,84	2,73	3,07	3,02	3,47
Запыленность воздуха в зоне дыхания машиниста комбайна, мг/м <sup>3</sup>	721	419	371	257	291	226
Снижение запыленности, %	—	42	—	30	—	22

Таблица 36. Влияние омагничивания воды на улавливание пыли при мокром бурении на рудниках Кривого Рога

Место обеспыливания	Количество пыли, мг/мин	
	обычная	омагниченная
<i>Рудник им. XX партсъезда</i>		
В штреке	4,4*	2,2*
На выходе из шпура	1,58	0,38
<i>Рудник им. М. В. Фрунзе</i>		
На выходе из шпура	1,75	0,60

\* В мг/м<sup>3</sup>.

эффективность пылеулавливания при буровых, погру-  
зочных и скреперных работах возрастает в 2—2,5 раза [212]. По сообщению института «Унипромедь» (1970 г.), этот метод внедрен на всех добычных участках, а также для обработки воды, используемой в водяных завесах Дегтярского рудника и, частично, на Пышминском и Гумишевском рудниках. В. А. Репко, А. С. Хатунцев и Б. А. Минеев, проводившие опыты на Березовском и Гурьинском месторождениях медных руд, установили, что повышается степень улавливания в основном тонких фракций пыли именно тех минералов, которые наиболее токсичны [213].

Выше речь шла о применении магнитной обработки воды, используемой для очистки воздуха от пыли, в основном, на горных предприятиях. Очевидно, этот метод может быть использован и на других предприятиях, где применяют мокрое пылеулавливание. Так, Э. М. Беляев с соавторами сообщают [13, с. 166], что им удалось снизить на 17% концентрацию пыли в воздушной среде дробильной фабрики Южного горнообогатительного комбината. Имеются первые, весьма положительные сведения о применении этого метода на брикетных фабриках и коксовых заводах в ГДР (концентрация пыли в воздухе снижается, примерно, вдвое).

Отмечено своеобразное действие магнитного поля на улавливание тонкодисперсной пыли пенным слоем, через который продували запыленный воздух [214]. Заметное повышение улавливания частиц магнетита, казалось бы, можно объяснить их магнитной флокуляци-

ей. Но дело в том, что наложение магнитного поля повышает улавливание и тонкодисперсной кварцевой пыли, особенно в присутствии ПАВ. По-видимому, наличие намагниченных частиц магнетита создает полиградиентное магнитное поле, способствующее лучшему удержанию частиц в пене.

## 7. ПРОИЗВОДСТВО КЕРАМИКИ, КИРПИЧА, ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ

Работами П. А. Ребиндера и многочисленных его последователей установлено, что в процессе термообработки глинистых дисперсий, играющих роль связки во всех рассматриваемых ниже изделиях, происходит последовательное преобразование их структур от коагуляционной в псевдоконденсационную и кристаллизационную. При этом очень многое зависит от начальной коагуляционной структуры, играющей роль своеобразной «матрицы». Применение омагниченной воды, влияющей на коагуляцию глинистых частиц (см. п. 2, гл. II), должно привести и, как показано ниже, приводит к значительному улучшению свойств готовых изделий.

### Производство керамики

Основные работы в этом направлении проведены Л. П. Черняком, И. П. Нестеренко, С. П. Ничипоренко, Н. Н. Круглицким и Р. М. Зайонцом [104, 169, 215, 216], в которых показано, что при применении омагниченной воды формируются более совершенные псевдоконденсационные и кристаллизационные структуры дисперсий. После сушки глинистые частицы контактируют преимущественно по базопинакоидальным плоскостям с предпочтительной ориентацией по этим плоскостям, что приводит к уплотнению материала. На обычной же воде глинистые частицы образуют контакты различных типов без заметной упорядоченности ориентации (рис. 96). После обжига образцов, приготовленных на обычной воде, образуется муллит с недостаточно четкими кристаллографическими очертаниями, в основном игольчатого габитуса (рис. 97, а). В образцах, приготовленных на омагниченной воде, возникают более крупные, четко очерченные кристаллы муллита

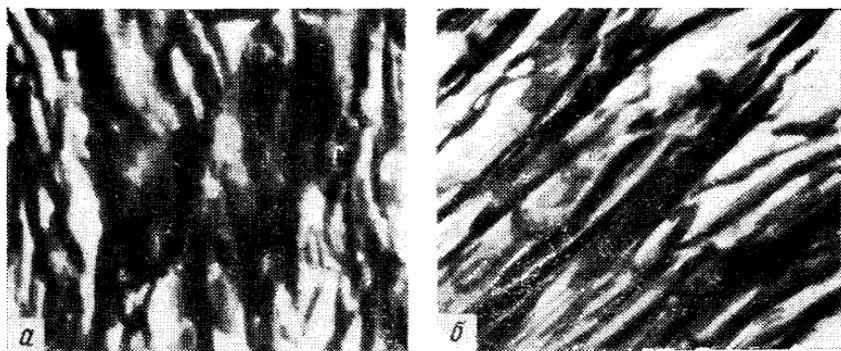


Рис. 96. Электронномикроскопические снимки дисперсий никифоровской глины после сушки ( $\times 47\ 000$ ):

*a* - суспензии приготовлены на обычной воде; *б* - суспензии приготовлены на омагниченной воде.

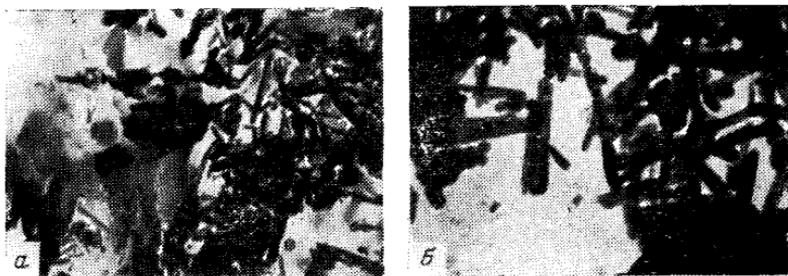


Рис. 97. Электронномикроскопические снимки дисперсий никифоровской глины после обжига ( $\times 47\ 000$ ):

*a* - суспензии приготовлены на обычной воде; *б* - суспензии приготовлены на омагниченной воде.

(рис. 97, *б*). Изменяется не только морфология муллита, но и упорядочивается распространение его кристаллов в виде спутанной волокнистой пространственной сетки. Это подтверждено результатами рентгеновской дифрактометрии и петрографического анализа. Отмеченные зависимости проявляются на различных глинах, как не содержащих железо (артемовская глина), так и содержащих его (никифоровская глина).

Указанные эффекты, естественно, приводят к существенному изменению свойств образцов после сушки и обжига (табл. 37). В случае применения омагниченной воды значительно возрастают

Таблица 37. Влияние магнитной обработки воды затворения на свойства образцов, приготовленных из артемовской глины (среднестатистические данные)

Показатели	Вода обычная	Вода, омагниченная при напряженности поля, кВ/м							
		6,4	12,8	19,2	25,6	31,8	44,6	51,2	67,4
Предел прочности на изгиб, МПа:									
после сушки	4,64	5,61	5,38	4,89	5,60	5,81	5,68	5,68	4,72
после обжига	28,7	33,5	32,4	29,0	30,1	31,7	36,2	35,6	33,5
Водопоглощение, %	1,3	0,6	0,7	1,5	1,0	0,8	0,8	0,8	1,0
Объемная масса, г/см <sup>3</sup> :									
после сушки	1,92	1,95	1,97	1,94	1,95	1,96	1,96	1,95	1,95
после обжига	2,17	2,24	2,25	2,20	2,24	2,25	2,26	2,25	2,24

прочность образцов и их объемная масса; водопоглощение при этом понижается. Четко прослеживается полиэкстремальная зависимость от напряженности магнитного поля. Сильно уменьшается пористость образцов (табл. 38).

Таким образом, магнитная обработка воды приводит к образованию более совершенных конденсационной и кристаллизационных структур глинистых дисперсий. Повышение совершенства конденсационной структуры «...определяется предпочтительной ориентацией по базопинакоидальным плоскостям, ростом количества и площади контактов глинистых частиц, а большая степень совершенства кристаллизационной структуры — морфологическими особенностями и характером распространения в виде спутанно-волоконистой пространственной сетки кристаллов муллита» [169].

Применение омагниченной воды оказывает почти одинаковое влияние на свойства глинистых дисперсий независимо от способов их приготовления и формования. Это было проверено на следующих схемах:

а) шликерная суспензия (влажность 54%) → пластическая масса (влажность 20%) → формование → сушка → обжиг;

Таблица 38. Влияние магнитной обработки воды затворения на пористость образца

Пористость, %	Артемовская глина на воде		Пикифоровская глина на воде	
	обычной	омагниченной	обычной	омагниченной
Общая	16,5	11,7	9,12	6,35
Закрытая	13,46	9,89	7,40	5,52
Открытая	3,04	1,81	1,72	0,83

Таблица 39. Изменение предела прочности на сжатие труб и кислотоупорных изделий при применении омагниченной воды для затворения, МПа

Изделия	После сушки		После обжига	
	вода обычная	вода омагниченная	вода обычная	вода омагниченная
Трубы	109,9	147,5	375,6	408,8
Кирпич кислотоупорный	8,0	10,1	43,1	54,2
Плитка кислотоупорная	7,8	9,8	52,7	65,1

- б) затворение водой шихтовой смеси сырьевых компонентов перед прессованием изделий (производственный способ);  
 в) прессование со шликерной подготовкой порошка.

Возможность применения магнитной обработки была проверена в промышленных условиях. Так, на заводе «Кислотоупор» с успехом использовали для производства керамических канализационных труб и кислотоупорных изделий омагниченную воду для затворения шамотизированной смеси артемовской, лукошкинской и латненской глины, являющихся полиминеральными системами, в которых глинистые минералы представлены каолинитом и гидрослюдой (табл. 39).

На Свердловском заводе керамических канализационных труб применение омагниченной воды затворения позволило повысить прочность изделий и значительно снизить брак после сушки (без больших дополнительных затрат (табл. 40) [217]).

Имеются официальные данные об успешном внедрении в 1974 г. магнитной обработки воды на Ангренском керамическом комбинате (эффект 30 тыс. руб./год), о принятии этого метода к внедрению на Харьковском керамико-трубном заводе и Артемовском заводе строительной керамики (1974 г.). Отмечена необходимость применения магнитной обработки воды и на других заводах, производящих различные керамические изделия.

Экономический эффект от применения магнитной обработки на заводах, производящих керамические канализационные трубы и кислотоогнеупорные изделия, достигает 500 тыс. руб.

Таблица 40. Эффективность применения магнитной обработки воды в производстве керамических труб на Свердловском заводе

Показатели	Вода		
	обычная	с добавкой ССБ*	омагничен-ная
Влажность после сушки, %	0,9	4,1	0,8
Прочность на сжатие, Н на 1 м длины:			
после сушки	76,9	90,6	91,5
» обжига	2700	3340	3400
Брак после сушки, %	7,1	2,3	0,9

\* ССБ — сульфит-спиртовая барда.

### Производство кирпича

Серьезные исследования возможности применения магнитной обработки воды в производстве алюмосиликатных огнеупоров проведены А. В. Севриковым [218] и Б. Т. Харьковским [24, стр. 197—199]. Магнитной обработке подвергали воду с общей жесткостью 19,2 мг-экв/л; состав воды приведен ниже, мг/л:

Ca <sup>2+</sup>	12,6	Fe <sup>2+</sup>	0,5
Mg <sup>2+</sup>	6,6	Cl <sup>-</sup>	0,5
Na <sup>+</sup>	1,7		

В опытах был использован аппарат с пятью электромагнитами; оптимальная напряженность поля составляла 400 кА/м, скорость воды 0,75 м/с.

Магнитная обработка воды оказывает положительное влияние как на свойства образцов огнеупоров, полученных полусухим и пластическим формованием, так и на свойства обожженных образцов. Петрографический анализ показал меньшее раскрытие трещин и более плотный контакт зерен шамота с цементирующей связкой в случае применения омагниченной воды. Прочность обожженных образцов возрастает на 21,8%, плотность — на 0,05 г/см<sup>3</sup>, пористость снижается на 3,1%.

Промышленные испытания, проведенные на Великоанадольском шамотном заводе, показали, что прочность сырца при полусухом и пластическом методах формования возрастает соответственно на 24,8 и 31,4%.

Таблица 41. Характеристика огнеупорных изделий Великоанадольского шамотного завода, изготовленных полусухим способом с применением обычной и омагниченной воды

Свойства	Обычная вода				Омагниченная вода		
	1967 г.	1968 г.	1969 г.	1970 г.	1971 г.	1972 г.	1973 г.
Предел прочности при сжатии, МПа	17,7	16,8	17,2	17,5	19,4	21,8	24,1
Кажущаяся пористость, %	24,3	22,5	24,4	23,3	21,6	18,6	18,8
Кажущаяся плотность, г/см <sup>3</sup>	1,98	2,0	1,96	2,01	2,03	2,10	2,09
Дополнительная усадка, %	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Еще больший эффект выявлен на обожженных изделиях: прочность возросла на 29,5—55%, пористость снизилась на 4,1%. Лишь термостойкость изменилась мало (табл. 41).

Годовой экономический эффект от применения магнитной обработки на этом заводе составляет около 40 тыс. руб. Однако более важным является то, что применение улучшенного огнеупорного кирпича позволяет увеличить срок службы футеровки и, тем самым, время между ремонтами тепловых агрегатов, что имеет огромное практическое значение. В 1971 г. в литейном цехе Ждановского ремонтно-механического завода вагранки футеровали в местах соприкосновения огнеупоров с расплавленным металлом наполовину обычным огнеупором, наполовину — изготовленным с применением омагниченной воды. Промышленный эксперимент показал, что в последнем случае срок службы огнеупорных изделий возрастает в 1,5 раза.

Б. Т. Харьковский, В. П. Гулякова и Ю. Г. Ушаков испытали другой метод использования омагниченной воды в производстве огнеупоров [24, стр. 197—199]. При обжиге каолина на шамот во вращающихся печах, в зоне «термического удара» вследствие интенсивной дегидратации каолина выделяется большое количество пыли. Для предотвращения этого сырье перед обжигом увлажняют и брикетируют. Были проведены испытания каолиновых образцов, увлажненных обычной и омагниченной водой, при строгом постоянстве осталь-

ных факторов. Кроме того, испытывали образцы, изготовленные с добавлениями 20% пыли, уловленной электрофильтрами. В обычных условиях эта пыль плохо смачивалась водой и не могла быть повторно использована для изготовления каолиновых брикетов.

Опыты показали, что применение воды, подвергнутой магнитной обработке в оптимальном режиме, позволяет примерно на 50% уменьшить образование пыли. Это свидетельствует о значительном увеличении механической прочности брикетов, увлажненных омагниченной водой. Проведенные промышленные испытания показали, что содержание пыли в дымовых газах обжиговых печей при этом снижается на 60%, а следовательно, улучшаются условия труда и уменьшаются потери сырья.

Имеются данные о существенном увеличении прочности строительного кирпича — красного и силикатного — при магнитной обработке воды затворения. В промышленном масштабе испытана магнитная обработка влажного глиняного бруса, выходящего из пресса. На Лядовском кирпичном заводе (Пермское управление стройматериалов) в 1969 г. из такой омагниченной глиняной массы была сформована опытная партия кирпича-сырца (128 тыс. шт.), подвергнутая затем сушке и обжигу. Этот кирпич имел марку порядка 100—125, в то время как обычный кирпич имеет марку порядка 75—100; это объясняется значительным увеличением прочности (на 30—40%) кирпича опытной партии.

На Березниковском заводе силикатного кирпича прочность кирпича возросла на 25%, что соответствовало повышению марочности кирпича со 100—125 до 125—150 (годовой экономический эффект составил примерно 50 тыс. руб.).

К сожалению, описанные возможности по необъяснимым причинам не нашли пока широкого применения.

#### **Производство литейных форм**

От свойств литейных форм (их прочности, газопроницаемости) во многом зависит качество получаемых отливок. Поэтому представляет существенный интерес использование омагниченной воды для затворения шихты, содержащей в качестве связующего бентонит, ог-

неупорную глину или цемент. Результаты исследования А. Чумаковой с соавторами [219], проведенного при различных содержаниях в шихте огнеупорной глины типа бентонита, времени перемешивания смеси в бегунах и режиме магнитной обработки технической воды, показали, что использование омагниченной воды позволяет повысить прочность песчано-глинистых и песчано-бентонитовых смесей на 25—30%. Газопроницаемость смесей тоже возрастает.

Ю. Б. Васин с соавторами также проводил исследования с песчано-бентонитовыми смесями (100 ч. песка, 10 ч. глины, 4,5 ч. воды). Время между магнитной обработкой водопроводной воды и ее добавлением к шихте составляло строго 1 ч. Применение омагниченной в оптимальном режиме воды привело к значительному улучшению характеристики сырых форм: их прочность возросла с 37—40 до 49—52 кПа, газопроницаемость с 287 до 313 условных единиц [94]. Хорошие результаты получены и на песчано-цементных смесях. Прочность сырых смесей возросла на 20—22%, что дало возможность сократить расход цемента [220].

В 1971 г. магнитная обработка воды была внедрена в литейном производстве на Челябинском металлургическом заводе.

## 8. ДРУГИЕ ОБЛАСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ

### Производство бумаги

Важнейшей характеристикой бумаги является прочность. Она зависит от ряда факторов: прочности и длины исходных волокон, характера и степени их переплетения, фибриллирования или изменения внешней поверхности, силы взаимосцепления волокон и др.

И. В. Жуков и Ю. Г. Бутко установили, что при пропускании бумажной массы (концентрация целлюлозы в воде 1,5 г/л) через магнитное поле со скоростью 0,8 м/с с последующим одинаковым отливом на сетке листоотливного аппарата прочность бумаги разных типов значительно возрастает [221]. Отмечены и другие положительные эффекты: улучшается водоотдача бумажной массы на сеточном столе бумагоделательной машины,

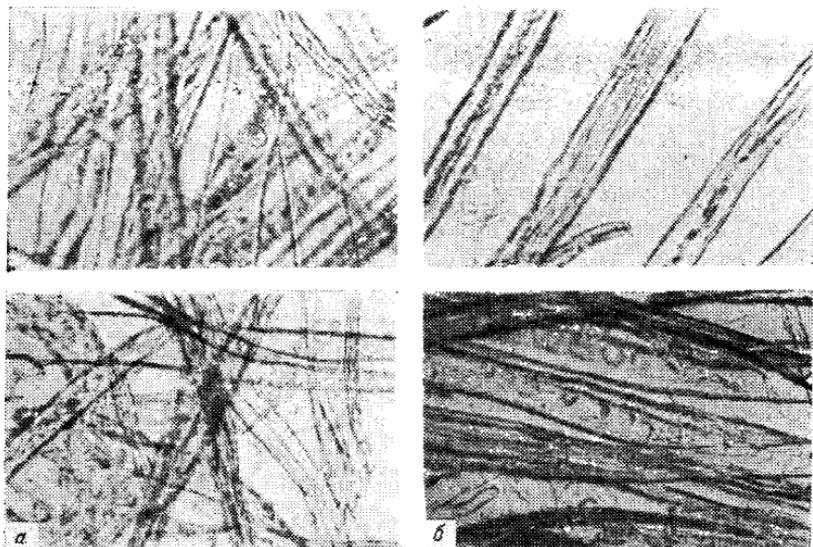


Рис. 98. Расположение волокон целлюлозы без магнитной обработки (а) и после магнитной обработки (б); сверху — сульфатная целлюлоза; внизу — сульфитная беленая целлюлоза.

сокращается расход пара на сушку бумажного полотна и повышается плотность бумаги.

Механизм явлений, вызываемых магнитной обработкой, И. В. Жуков и Ю. Г. Бутко объясняют следующим образом [222]: магнитная обработка как взвеси волокон в технической воде, так и воды до подачи в нее волокон, усиливает взаимосцепление волокон; в результате магнитной обработки резко упорядочивается ориентация волокон (рис. 98); указанные изменения происходят как в случае обработки воды (до внесения в нее волокон), так и после обработки суспензии (вода — волокна) с концентрацией твердого 4 г/л. Но в последнем случае достигается больший эффект.

Поскольку волокна целлюлозы диамагнитны, трудно предположить, что при кратковременном воздействии слабого магнитного поля они приобретают более однородную ориентацию. По нашему мнению, это связано со снижением степени гидратации поверхности волокон (см. п. 2, гл. II), что в свою очередь может привести к их более сильному взаимосцеплению под дей-

ствием молекулярных сил. Стремление к контакту по образующей поверхности волокон (а не в точках при их переплетении) может повлиять на ориентацию волокон. Другими словами, в этом процессе, очевидно, основную роль играют поверхностные силы.

Магнитная обработка водной суспензии из небеленой и беленой целлюлозы приводит также к улучшению процесса фильтрования, что согласуется с данными п. 4 этой главы. И. Я. Подчерняев и В. Е. Филиппов обоснованно связывают это явление с уменьшением гидратации (смачиваемости) поверхности волокон целлюлозы [223].

Магнитная обработка водных систем в процессах производства бумаги оказывается весьма полезной и при осветлении оборотных вод (как это указывалось в п. 5 данной главы). И. Я. Подчерняев и Н. З. Банеле показали, что в лабораторных условиях при воздействии полем напряженностью 100 кА/м на поток воды со взвешенными частицами (скорость потока 0,6 м/с) скорость их оседания возрастает почти в 2 раза. Опыты, проведенные в течение года на очистных сооружениях бумажной фабрики им. Ю. Янониса, показали, что производительность этих сооружений возрастает более чем на 30%. Одновременно улучшаются свойства осадков в линиях конических ловушек, что облегчает удаление осадков. В условиях этой бумажной фабрики повышение производительности очистных сооружений и степени очистки воды дает годовой экономический эффект 134 тыс. руб. [224].

#### Производство окатышей

Процессы гранулирования (окомкования) порошков широко применяют в различных производствах. Поэтому представляет интерес использование омагниченной воды для получения сырых окатышей. Однако публикаций о проведении работ в этом направлении нет, за исключением одной [225], в которой говорится о применении магнитной обработки при получении сырых окатышей железорудных концентратов обогатительной фабрики Курской магнитной аномалии. При периодическом гранулировании концентратов и шихты с применением омагниченной воды время, необходимое для окомкования, сокращается на 12—22% и одновременно снижается влажность окатышей с 9—10,5 до 6,8—7,8%.

Эти результаты хорошо согласуются с данными о лучшем слипании твердых частиц при замене обычной воды омагниченной.

#### Агломерация

Железорудный порошкообразный концентрат перед плавкой в доменных печах подвергают агломерации. Этот процесс протекает более интенсивно в случае предварительного окомкования шихты, что приводит к увеличению ее газопроницаемости на агломерационной ленте.

В работах В. А. Мартыненко с соавторами [13, с. 161—164; 286] описаны опыты, проведенные в условиях Южного горнообогатительного комбината. Магнитной обработке подвергали воду двух видов — техническую и питьевую (табл. 42).

Магнитную обработку проводили с помощью электромагнитных аппаратов типа АЗТМ (см. рис. 67) при напряженности поля 18—38 кА/м и скорости воды 1,5—1,8 м/с. При промышленных испытаниях применяли аппараты ПМУ (см. рис. 59). Железный концентрат, смачиваемый водой перед окомкованием, содержал 64,7% железа; количество частиц размером более 0,28 мм составляло 0,6%, частиц размером менее 74 мкм было 89,8%. Шихта состояла из 70% концентрата, 6% известняка, 3% коксика и возврата (остальное). Окомкование (60 кг шихты) проводили в лабораторном окомкователе в течение 2 мин. Воду в строго постоянном количестве смешивали с шихтой перед окомкованием с доведением влажности шихты

Таблица 42. Характеристика обрабатываемой воды

Показатели	Вода	
	техническая	питьевая
Общая жесткость, мг-экв/л	17,3	3,4
Содержание, мг/л:		
сухого остатка	3299	257
хлоридов	1548	35
кальция	125	48
магния	184	12
железа общего	0,15	0,10
Концентрация ионов, мг/л:		
натрия	853	36
гидрокарбонатных	146	165
сульфатных	398	65
кремневой кислоты	7	2,7
рН	7,4	7,4

Таблица 43. Влияние омагничивания воды на окомкование шихты перед агломерацией

Вода	Выход класса +5 мм. %	Газопроницаемость, м <sup>3</sup> /мин	Сопротивление раздавливанию гранул размером, мм		
			+9	-9+5	
Питьевая: обычная	32,0	32,0	2,8	—	
	31,9	32,0	2,9	—	
	31,3	32,5	2,8	—	
	омагниченная	35,4	28,0	3,0	—
		34,0	31,0	3,0	—
		36,4	29,1	3,1	—
Техническая: обычная	31,6	28,7	4,0	1,9	
	36,4	28,6	3,8	1,8	
	35,5	28,0	4,0	1,9	
	омагниченная	49,8	28,7	4,7	2,7
		38,1	28,7	4,5	2,8
		40,0	28,0	4,7	2,7

до 8,5%. В табл. 43 приведены результаты опытов. Из таблицы видно, что магнитная обработка питьевой и еще в большей степени технической воды приводит к значительному увеличению крупности и газопроницаемости шихты, а также прочности получаемых гранул.

Промышленные испытания подтвердили лабораторные данные. При спекании шихты на агломерационной ленте газопроницаемость слоя возросла на 18%. Это позволяет вести спекание при повышенной скорости ленты, т. е. увеличить производительность. Положительные результаты получены С. С. Черкасовым, Н. С. Шаповаловым, Л. А. Ениным и Ф. А. Березовским и на агломерационной фабрике Криворожского металлургического завода им. В. И. Ленина [13, с. 164—165]. Производительность лабораторной агломерационной ленты возросла на 11%, промышленной — на 1,5%; одновременно прочность агломерата повысилась на 1,3%. Следует отметить, что в последних опытах оптимальный режим магнитной обработки не подбирали.

#### Производство синтетических волокон и каучука

В этом производстве используется, прежде всего, повышенная растворяющая способность омагниченной воды. На Стерлитамакском нефтехимическом опыт-

Таблица 44. Влияние магнитной обработки растворов на отмывку суспензии цинк-железо-хромового катализатора

Осаждение неомагнитных растворов и промывка неомагнитной водой	Осаждение омагнитенных растворов $\text{FeSO}_4$ и $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ в воде	Осаждение омагнитенной отмывной водой	Осаждение неомагнитных растворов и промывка неомагнитной водой	Осаждение омагнитенных растворов $\text{FeSO}_4$ и $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ в воде	Осаждение омагнитенной отмывной водой
1,24	1,33	1,28	0,13	0,15	0,037
1,10	1,27	1,12	0,11	0,05	0,017
0,67	0,61	0,251	0,082	0,021	—
0,26	0,31	0,107			

но-промышленном заводе А. Г. Ликумович и другие применили омагнитенные растворы при получении алюмохромового катализатора дегидрирования воды. Это позволило интенсифицировать отмывку суспензии цинк-железо-хромового катализатора, а также отмывку каучука МКИ-3 от солей металлов [13, с. 177—181].

При приготовлении алюмохромового катализатора растворы  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и КОН пропускали со скоростью 0,8 м/с через постоянное поле напряженностью 130 кА/м. Эффект оценивали по изменению прочности катализатора, его активности и селективности. Результаты опытов свидетельствуют о том, что магнитная обработка исходных растворов способствует улучшению свойств катализатора дегидрирования.

Обычно при приготовлении катализатора полученную суспензию промывают большим количеством воды для удаления образовавшегося при охлаждении сернокислого аммония. Как видно из табл. 45, магнитная обработка промывной воды позволяет вдвое сократить число промывок и, тем самым, объем промывной воды, что позволяет не только ускорить процесс, но и уменьшить потери катализатора. При этом качество катализатора не меняется.

Результаты опытов по применению омагнитенной воды для отмывки каучука СКИ-3 от остатков катализатора полимеризации приведены в табл. 46. Омагнитивание достигалось пятикратным пропусканьем воды через переменное магнитное поле частотой 50 Гц и напряженностью 29—51 кА/м. Данные табл. 45 свидетельст-

*Таблица 45. Влияние магнитной обработки воды на отмывку каучука СКИ-3 от остатков катализатора (опытные данные)*

Напряженность магнитного поля, кА/м	Содержание остатков, % (масс.)		Напряженность магнитного поля, кА/м	Содержание остатков, % (масс.)	
	отмывка обычной водой	отмывка омагниченной водой		отмывка обычной водой	отмывка омагниченной водой
29	0,077	0,085	29	0,170	0,150
29	0,147	0,073	51	0,075	0,070
29	0,254	0,199	51	0,180	0,090
29	0,160	0,097	51	0,120	0,006

вуют о существенном улучшении отмывки полимеризата.

Полупромышленные испытания показали (табл. 46), что применение омагниченной воды позволяет в 1,5—2 раза уменьшить содержание золы в полимере, а содержание титана — в 2,5—3 раза. Это резко улучшает качество каучука. По сообщению А. Лиакумовича, на Стерлитамакском опытно-промышленном заводе были внедрены промышленные установки для магнитной обработки воды для отмывки каучуков, а также установки для обработки растворов, идущих на приготовление катализаторов дегидрирования.

Другим примером использования повышенной растворяющей способности омагниченной воды в производстве полимеров является отмывка поливинилхлорид-

*Таблица 46. Влияние магнитной обработки воды на отмывку каучука СКИ-3 от остатков катализатора (полупромышленные испытания)*

Отмывка обычной обессоленной водой		Отмывка омагниченной водой	
содержание золы, %	содержание титана, %	содержание золы, %	содержание титана, %
0,150	0,054	0,090	0,016
0,165	0,044	0,030	0,007
0,135	0,049	0,050	0,007
0,190	0,041	0,075	0,007
0,190	0,050	0,100	0,009

Таблица 47. Влияние магнитной обработки промывной жидкости на интенсификацию отмывки волокна

Показатель	Среднее из пяти опытов	Средняя ошибка
Концентрация растворителя в волокне на входе в ванну, %	74,5	±4,2
Концентрация растворителя в волокне после отмывки, %		
без магнитной обработки	57,6	±5,6
после магнитной обработки	36,0	±5,8
Эффект отмывки, %		
без магнитной обработки	16,9	±4,8
после магнитной обработки	38,5	±5,1

ного волокна (ПВХ) от диметилформамида (ДМФ). Этот процесс в обычных условиях протекает очень медленно и требует громоздкого аппаратного оформления. Опыты Б. Ф. Татарникова, И. И. Орлова и П. А. Смыслова дали весьма положительные результаты [13, с. 190—193]. Опытная непрерывно действующая установка производительностью по волокну 50 кг/сут. состояла из аппарата для магнитной обработки промывной жидкости, аппаратуры для строгого контроля ее расхода и контакта, а также ванны, в которой перемещался и промывался жгут ПВХ. Температура, расход жидкости и другие параметры были стабилизированы. Результаты опытов приведены в табл. 47. При применении омагниченной промывной жидкости вдвое возрастает извлечение ДМФ.

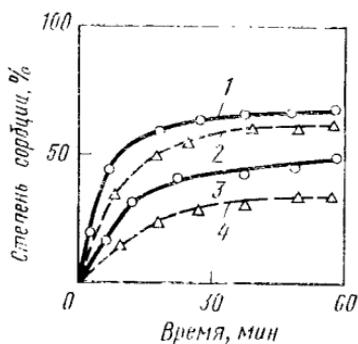
#### Крашение тканей

Имеются многочисленные сведения о возможности значительного улучшения процессов крашения различных тканей магнитной обработкой растворов разных красителей.

П. М. Соложенкин, И. Я. Калонтаров и Н. А. Стрункина исследовали влияние магнитной обработки водных систем на процессы сорбции и фиксации дисперсных красителей синтетическими волокнами [13, с. 193—196]. Обычно для интенсификации этих процессов применяют различные реагенты, однако они не дают требуемого эффекта. Магнитной обработке подвергали тех-

Рис. 99. Влияние магнитной обработки бидистиллята на сорбцию красителя I (сплошные линии) и красителя II (штриховые линии) капроновым полотном:

1, 2 — в омагниченной воде; 3, 4 — в воде обычной.



ническую воду и бидистиллят.

Объектом исследования служило трикотажное полотно из блестящего капрона. Для магнитной обработки использовали специфический электромагнитный аппарат, отличающийся тем, что вода могла находиться в поле различное, довольно длительное время. Оптимальная напряженность поля составляла 315 кА/м. Красителями служили дисперсные кристаллы: I — дисперсный фиолетовый К и II — процинайл синий RS.

Крашение красителем I осуществляли в течение 1 ч в растворе, содержащем 30%-ную уксусную кислоту (2 г/л) и смачиватель — лиссапол N (1 г/л) при pH 3,5—4 и температуре 95 °С. При применении красителя II после крашения в течение 1 ч в раствор вводили кальцинированную соду (до 2,5—3,0 г/л) и крашение продолжали еще 1 ч.

На рис. 99 приведены результаты, полученные при использовании омагниченного бидистиллята. Как видно из рисунка, после магнитной обработки степень сорбции обоих красителей возрастает. Еще заметнее этот эффект при омагничивании технической воды: степень сорбции красителя I возрастает с 6,1 до 7,8 мг/л, а красителя II — с 4,9 до 7,1 мг/л (т. е. на 42%). Оптимальная продолжительность магнитной обработки воды составляет 40 мин. После крашения в омагниченной воде прочность окрасок к действию мокрых обработок возрастает на 1—2 балла. Авторы этого исследования полагают, что магнитная обработка ускоряет диффузию красителя внутрь волокон.

В. А. Варламов, П. В. Никапоров и Т. Е. Мазур (ЦНИИШерсти) сообщают, что магнитная обработка на Купавинской фабрике растворов серной кислоты в процессе карбонизации (химическом удалении раститель

ных примесей) позволила удалить отложения гипса со стенок аппаратуры. Обработка раствора красителя, как это установлено исследованием микросрезов поверхности окрашенного волокна шерстяных тканей, дает возможность улучшить распределение красителя, освободить поверхность волокон от воска и жира [250, с. 95].

В. К. Поляков, П. В. Никаноров и В. С. Епикранов на той же Купавинской фабрике исследовали применение омагниченной воды на красильных аппаратах открытого типа для крашения шерстяного волокна. В результате обработки значительно повысилась равномерность окрашивания волокон, сократился расход химических материалов и электроэнергии, так как повысилась производительность аппарата [227].

М. И. Давидзон и Т. Н. Мальцева исследовали действие магнитной обработки прямых красителей на крашение легких хлопчатобумажных тканей (ситца, сатина, штапеля) в лабораторных и производственных условиях. Обработке подвергали воду, к которой потом добавляли краситель. Количество красителя, зафиксированного тканью, определяли колориметрированием на ФЭК-56М.

Установлено, что применение омагничивания приводит к значительной (до 40%) интенсификации крашения (увеличению выхода красителя на ткани), но только при оптимальных режимах магнитной обработки. Время релаксации свойств воды после ее пребывания в магнитном поле таково: через 3 ч активность воды заметно снижается, через 6 ч прирост накрашивания (по отношению к контрольному образцу) равен нулю [250, с. 94].

Результаты данного исследования использованы на Ивановской фабрике им. Варенцовой с применением красителя прямой голубой (табл. 48).

Экономический эффект от внедрения магнитной обработки составил 1700 руб./год на 1 млн. т ткани. Поэтому можно ожидать, что магнитная обработка водных систем найдет широкое применение в текстильной промышленности, характеризующейся значительным расходом воды.

Текстильная промышленность с ее обширными водными обработками должна занять видное место в применении магнитной обработки водных систем.

Таблица 48. Влияние омагничивания водопроводной воды на крашение хлопчатобумажных тканей

Ткань	Выход красителя на ткани, г/кг		Прирост выхода красителя на ткани, %
	вода обычная	вода омагниченная	
Сатин Арт. 520	0,82	1,17	42,7
Ситец Арт. 32	0,52	0,72	38,5
Штапель Арт. 72110	0,27	0,38	40,1

### Аккумуляторы

Основным недостатком широко применяемых свинцовых аккумуляторов является низкий коэффициент использования активной массы, особенно положительных пластин. Для повышения этого коэффициента М. Ф. Скалозубов, Ф. И. Кукоз, В. И. Гончаров, В. П. Бреславец и А. Г. Молчан подвергли магнитной обработке растворы серной кислоты [24, с. 255—256; 228]. Они установили, что при воздействии на раствор знакопеременного магнитного поля частотой 50 Гц свойства приготовленной массы улучшаются. Ее емкость возрастает на 5—7%. В случае формирования положительных электродов в омагниченном электролите емкость возрастает на 9—12%, срок службы на 11—44%. В течение 60—80 циклов опытные и контрольные электроды ведут себя одинаково; затем опытные электроды начинают отдавать большую емкость, чем контрольные. Рентгенографические, гальваностатические и другие исследования показали, что омагничивание электролита приводит к изменению структуры массы, облегчающему проникновение электролита внутрь массы. Несмотря на менее плотную упаковку кристаллов, масса получается более прочной (прочность возрастает на 8—10%). Это объясняется изменением формы образующихся кристаллов и более упорядоченной их ориентацией.

### Катализаторы

Г. К. Чернов, М. М. Левкович, К. Н. Соколов, Р. С. Арзуманова и Н. П. Косогова подвергали магнитной обработке растворы нитратов кобальта (40 мг/л), тория

(2 г/л), магния (5 г/л), на основе которых получают катализатор, используемый для синтеза углеводов [13, с. 187—189]. Осаждение металлов проводили через 60 мин после обработки. Катализатор готовили обычным способом. Перед синтезом углеводов его восстанавливали в токе водорода при 400 °С. Катализатор испытывали в лабораторной установке при обычном давлении в течение 15—20 суток непрерывной работы. Опыты показали, что активность катализатора, полученного из омагниченного раствора, возрастает на 13%; при этом суммарный выход углеводов увеличивается со 108 до 121 г/м<sup>3</sup> газа. Авторы отмечают, что структура катализатора изменяется.

#### Смазочно-охлаждающие жидкости

Смазочно-охлаждающие жидкости, широко применяемые при обработке металлов, во многом определяют стойкость режущих инструментов. Опубликованы две работы по омагничиванию смазочно-охлаждающих жидкостей; при этом получены примерно одинаковые результаты. А. С. Серебрянников, В. П. Ковтун и В. И. Шеян пропускали 5%-ную водную эмульсию эмульсола ЭТ-2 через поле напряженностью 219 кА/м, а затем подавали ее в зону резания сверла вертикального станка. Сверло диаметром 12 мм было выполнено из стали Р6М3. Скорость резания обрабатываемого материала (стали) составляла 25 м/мин; расход эмульсии 4—5 л/мин. Длительные испытания показали, что стойкость сверл, охлаждаемых омагниченной эмульсией, возрастает на 30—40%, а износ их становится более равномерным по длине режущих кромок. Это может быть связано с изменением смачивающей способности смазочно-охлаждающей жидкости [24, с. 251—252]. Следует заметить, что возможна и активация сорбции эмульсола.

Л. В. Худобин, А. Л. Глузман и В. Ф. Гурьянихин [229] установили, что магнитная обработка водной эмульсии в случае упругого шлифования металла кругами из сверхтвердых материалов позволяет в 3,0—3,2 раза снизить удельный расход алмазов (при тех же шероховатости и интенсивности съема металла). При круглом наружном шлифовании значительно повышает-

ся стойкость абразива. Заметно стабилизируются свойства эмульсии: из омагниченной эмульсии на 30-й день после приготовления выделяется в 5 раз меньше масла, чем на 3-й день из обычной.

### Процессы закалки стали

Эта область применения омагничивания водных систем открыта без прогноза работами В. А. Матусевича, Н. С. Громовой и А. Г. Спектора. Они подвергали закалке детали подшипников качения в омагниченном водно-содовом растворе [230].

Качество подшипников качения в значительной мере определяется технологией их закалки, производимой, в частности, в 3%-ных водо-содовых растворах (шарики крупнее 13,5 мм). При закалке шариков в воде и водо-содовых растворах на их поверхности образуется слой окарины, влияющий на «паровую рубашку» у поверхности шариков и, следовательно, на кинетику отвода от нее тепла. Без магнитной обработки растворов эта кинетика была такова, что на поверхности шариков образовывались в значительном количестве трооститные пятна, снижающие твердость поверхности шариков, делая их некондиционными. После магнитной обработки резко изменяется характер отложений на поверхности шариков (рис. 100). Опыты показали, что ориентация кристаллов отложений (рис. 100, б) ускоряет отвод пара от поверхности, обеспечивая быстрый теплоотвод от горячей детали, что благотворно сказывается на характеристике поверхности; глубина трооститовых пятен

Таблица 49. Влияние магнитной обработки водо-содового раствора на характеристику поверхности закаливаемых шариков

Диаметр шариков, мм	Закалка в обычном растворе		Закалка в омагниченном растворе	
	средняя глубина трооститовых пятен, мм	НРС	средняя глубина трооститовых пятен, мм	НРС
19	0,13	59,60,61	0,09	62,62,62,5
28	0,17	59,60,61	0,11	62,62,62
16	0,11	60,60,61	0,06	62,62,5,62

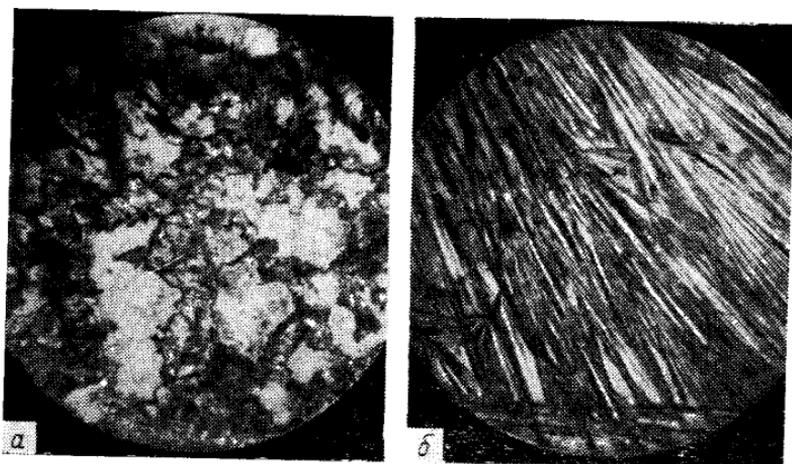


Рис. 100. Вид отложений на поверхности шариков, закаливаемых в водо-содовом растворе:

*a* — обычном; *б* — омагниченом.

резко сокращается, в 20—25 раз уменьшается их площадь. Поверхность представлена, главным образом, твердым мартенситом (табл. 49). Снижение глубины трооститовых образований приводит к тому, что они практически полностью удаляются при шлифовании.

В результате шарики становятся кондиционными (с твердостью выше 61,5 по Роквеллу). Достигается большой экономический эффект. При проведении указанных исследований подтверждены многие закономерности, характерные для других водных систем, подвергнутых омагничиванию. «Память» раствора измеряется несколькими часами (до суток). Имеется оптимум напряженности магнитного поля. Метод внедрен на ряде шарикоподшипниковых заводов. Однако нам кажется, что он представляет интерес и для термообработки других деталей.

#### Нефтяная промышленность

Отмеченное многими работами влияние магнитной обработки природной и технической воды на коагуляцию, смачивание и фильтрование обусловило целесообразность испытания применимости магнитной обработки для улучшения вытеснения нефти из песчаных пластов

(что имеет большое значение для нефтяной промышленности).

Установлена принципиальная возможность существенного улучшения вытеснения водой углеводородного флюида из смеси песка и глины. Это проявляется в увеличении безводного периода на 10—25% и полноты вытеснения на 18—37%. При значительном содержании глины в песке (более 10—15%), кроме увеличения коэффициента продуктивности, отмечается сокращение в 1,5—2,5 раза продолжительности процесса вытеснения.

А. И. Михельман, Л. А. Демчук, Н. В. Петров и др. (Ивано-Франковский институт нефти и газа) установили, что при омагничивании воды проницаемость кернов увеличивается на 4—20%.

А. М. Байрамов, З. М. Ахметов, В. С. Дешура и др. (Азербайджанский институт нефти и химии им. М. Азизбекова) исследовали влияние магнитной обработки воды, закачиваемой в пласты, на вытеснение ею нефти. В производственных условиях приемистость глинизированных пластов возросла на 35—43%. Отмечено усиление корреляционной связи между эксплуатационными и нагнетательными скважинами, что приводит к улучшению вытеснения нефти из пластов. Эти работы нуждаются в дальнейшем развитии [197].

А. Н. Куценко (Грозненский нефтяной институт) повышение приемистости нефтяного пласта после магнитной обработки объясняет уменьшением забивки пор пласта сульфатом кальция. Скорость фильтрации раствора в отсутствие магнитной обработки воды составила  $9 \cdot 10^{-5}$  м/с, а после обработки  $8 \cdot 10^{-4}$  м/с.

Мы уже отмечали, что в нефтяной промышленности с успехом применяют магнитную обработку для борьбы с отложением солей [250, с. 84]. Дальнейшие исследования в этой области представляются очень перспективными.

При магнитной обработке водных эмульсий в ряде случаев улучшается их обезвоживание. Это, по-видимому, обусловлено составом эмульсии и режимом магнитной обработки.

Ш. Н. Алиев, Д. М. Агаларов, А. М. Садыхов и В. Т. Аникина подвергали магнитной обработке водонефтяную эмульсию. Пробы эмульсии помещали в водяную баню, нагретую до температуры промышленного

деэмульгирования (60 °С), и выдерживали при этой температуре в течение 1 ч. После 4-часового отстаивания определяли степень расслоения эмульсии на нефть и воду, количество выделившейся воды, соленость и другие характеристики деэмульгированной нефти. Как известно, основными показателями эффективности деэмульгирования являются глубина обезвоживания и степень обессоливания эмульсии. После магнитной обработки из эмульсии с обводненностью 12% выделилась основная масса воды, и остаточная обводненность составила всего 0,72%. При этом соленость снизилась с 5291 до 146 мг/л. Заметно возросла скорость расслаивания [24, с. 257].

### Производство фосфорной кислоты

Важнейший продукт химической промышленности — экстракционную фосфорную кислоту — получают разложением фосфоритов и апатитов серной кислотой. Технология производства фосфорной кислоты состоит из стадий разложения фосфатного сырья, кристаллизации сульфата кальция, отделения его от относительно слабой кислоты и ее упарки (для удаления лишней воды). Лишь в самое последнее время эта сложная и громоздкая технология стала объектом применения магнитных воздействий на водную систему — смесь воды и фосфорной кислоты. Впервые магнитная обработка была применена для стадии упарки\*, а затем и для других стадий.

Исследование изменения физико-химических свойств этой водной системы (С. Л. Коновалова, Л. А. Семина, Н. И. Шипиков) показало, что омагничивание заметно изменяет ее свойства. Эти изменения зависят от температуры, концентрации кислоты и длительности обработки. Примерно на 1% (отн.) возрастает плотность и на 6% (отн.) вязкость. Слабые диамагнитные свойства изменяются всего на 2% (отн.) через 1 ч после обработ-

---

\* М. Е. Позин, Б. А. Копылев, В. Л. Варшавский, В. М. Лаптев, А. С. Горфункель, П. В. Литвинова, С. И. Левченко, А. А. Новиков, В. А. Копылов, Т. Г. Репенкова, И. И. Афанасьева, Н. И. Зотов, А. Я. Абрамович, Л. П. Буслакова. Способ упаривания фосфорной кислоты. Авт. свид. № 358922. Открытия, Изобр. Пром. образцы. Товарн. знаки, 1935, № 14.

ки. После обработки кислоты существенно — почти вдвое — снижается содержание кремнефторида натрия в фильтрате. Заметно изменяется и электрокинетический потенциал поверхности осадков, выделяющихся из кислоты [250, с. 60].

Ю. М. Сокольским, С. Л. Коноваловой и Н. И. Шишковым установлено, что магнитная обработка суспензии, состоящей из кислоты и частиц фосфогипса (температура 80 °С, концентрация твердой фазы 32%) приводит к изменению состава твердой фазы, ликвидации пересыщения по сульфату кальция в жидкой фазе. Увеличивается скорость фильтрования суспензии (и, следовательно, производительность всей установки); улучшается отмывка осадка, что снижает потери кислоты, понижается количество балластного гипса, что облегчает дальнейшую переработку кислоты. Электромагнитная обработка экстракционной фосфорной кислоты испытывается на Винницком химическом заводе и в Кингисеппском производственном объединении «Фосфорит» [250, с. 59]. Магнитная обработка разбавленной фосфорной кислоты испытывается также в Воскресенском производственном объединении «Минудобрения», где в отдельных случаях в 2—4 раза уменьшились отложения фосфогипса в выпарных аппаратах (работа проводилась силами объединения и ГосНИИгорнохимического сырья) [250, с. 51, 55, 56].

#### Фотопромышленность

А. С. Шахназарова (Ленинградский институт киноинженеров) показала в промышленных условиях возможность для ускорения промывки пленки МЗ-3 (в 1,6—4 раза) и ЦП-8Р (в 2—15 раз) при использовании магнитной обработки. В большинстве опытов эффект усиливается при рециркуляции жидкости в магнитном поле. Процесс внедрен на Ленинградской кинокопировальной фабрике и в кинокомплексе «Укртелефильм» [250, с. 98].

#### Производство соды

М. Ф. Скалозубов и Л. И. Мацкевич установили, что при производстве каустической соды известковым способом с использованием омагниченных растворов константа равновесия увеличивается в два раза. Ими ис-

следовано применение магнитной обработки в содовом производстве перед вакуум-выпаркой. Обработке подвергали раствор кальцинированной соды при 70—85 °С. Известковую кашу, приготовленную на дистиллированной воде, подвергнутой магнитной обработке, нагревали до той же температуры и заливали в каустификатор вслед за раствором соды при непрерывном перемешивании. Через 30 мин после начала каустификации отбирали продукты реакции на анализ (при 38 °С). Результаты опытов показали, что агрегативная устойчивость суспензии возрастает в 1,2—1,6 раза; содержание  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в осветленном щелоке снижается в 2 раза; степень каустификации возрастает на 5—6%. Рентгеноструктурный анализ осадка показал некоторое изменение фазового состава — появляется персонит ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), т. е. продукт взаимодействует с исходным реагентом. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности развития исследований по применению магнитной обработки в производстве соды [13, с. 201—202]. В. А. Присяжнюк отметил улучшение процессов гашения извести, а также ряда процессов содового производства — интенсифицируются отстой рассола от гидрооксида магния, фильтрация и промывка высокодисперсного диоксида кремния (белой сажи), карбонизация, промывка и фильтрация технического бикарбоната натрия, растворение галита (омагничивание внедряется на Березниковском содовом заводе [250, с. 54]).

#### Производство хлора

Б. А. Кривой и А. М. Пеклер исследовали возможность применения магнитной обработки водных систем в производстве хлора в трех направлениях: а) для управления процессами кристаллизации примесей, коагуляции формирующихся осадков и улучшения очистки промышленных растворов и сточных вод; б) для ускорения растворения солей и минералов и в) для управления процессами термической кристаллизации хлоридов металлов. Во всех случаях ими получены положительные результаты [24, с. 125—129]. Они применяли магнитную обработку в конкретных производственных процессах: для очистки рассола диафрагменного электролиза, растворов хлорид-хлоратных щелоков и хлористого марган-

ца, а также для освобождения каннитовых щелоков от сульфатов металлов и растворов различных электролитов от гидроксидов железа и других примесей.

Особенность магнитной обработки водных систем в этих исследованиях состояла в том, что давление в потоке было пульсирующим (выше нами упоминалось о положительной роли перепадов давления в магнитных аппаратах).

Опыты показали, что скорость оседания взвеси, состоящей из  $\text{CaCO}_3$  (0,5 г/л) и  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  (0,1 г/л) и формирования осадка после магнитной обработки возрастают в 2 раза, скорость фильтрования — в 4 раза. Омагничивание растворов хлорид-хлоратных щелоков, содержащих до 0,5% г/л примесей гидроксида железа — (III), а также примеси графита, карбоната кальция и др. (всего 300 мг/л), позволяет увеличить скорость оседания взвеси в 1,8 раза. В процессе освобождения каннитовых щелоков от сульфатов железа формируется концентрированная суспензия гипса (до 100 г/л). При проведении этого процесса с омагничиванием системы в течение 10—12 мин при напряженности магнитного поля 64 кА/м скорость оседания взвеси возрастает на 60%.

Приведенные результаты, хотя и характеризуют начальный этап исследований по применению магнитной обработки в хлорной промышленности, однако свидетельствуют о перспективности этого метода. Следует обратить внимание на возможность интенсификации процесса сочетанием пульсации жидкости с увеличением времени нахождения водной системы в магнитном поле.

#### Выщелачивание металлов из руд

Этот метод извлечения ценных компонентов из полезных ископаемых уже получил определенное развитие, перспективы его дальнейшего распространения очень велики. Процесс выщелачивания (обычного и бактериального) может быть значительно интенсифицирован применением магнитной обработки водных систем. При этом реализуются такие свойства омагниченных растворов, как повышенная растворяющая способность и биологическая активность.

Влияние магнитной обработки водного раствора серной кислоты на выщелачивание меди из руды исследу-

довано Ю. С. Рыбаковым, Б. Д. Халезовым, И. Г. Пустильник и А. И. Некрасовым [24, с. 236—237]. Они проводили опыты с сульфидной «упорной» рудой Джек-казганского месторождения следующего состава: 0,52% Cu, 3,52% Fe, 0,33% S, 65,3% SiO<sub>2</sub>, 1,41% MgO, 11,9% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 3,47% CaO, 0,0016% As и 13,56% Cl. Эту руду, дробленую до частиц размером 30 мм, загружали в полиэтиленовые перколяторы и орошали 1%-ным раствором серной кислоты, предварительно пропущенным со скоростью 1 м/с между полюсными наконечниками (диаметром 150 мм) постоянного электромагнита системы П. Л. Капицы. Просочившийся через слой зерен руды раствор анализировали на медь и кислоту. Через семь месяцев выщелачивания получено следующее извлечение меди растворами, обработанными полем разной напряженности:

Напряженность поля, кА/м	0	60	80	160	400	800
Извлечение меди, %	20,0	24,2	25,0	18,9	26,0	20,5

Значительный прирост извлечения наблюдается при напряженности магнитного поля 60—80 кА/м. Повышенные напряженности магнитного поля до 800 кА/м не привело к улучшению результатов. В оптимальном режиме были проведены опыты продолжительностью 525 суток. За это время в обычный раствор было извлечено 58,7% меди, а в омагниченный 71,5%. Приращение извлечения на 12,8% (на 20,2% относительных) является очень большим *и не может быть случайным*. Необходимо отметить, что выщелачивание последних 10% меди (с повышением извлечения с 60 до 70%) является наиболее затруднительным и медленным. На это уходит обычно 8—10 месяцев. В опытах отмечена также возможность сокращения расхода серной кислоты.

Первые наблюдения, установившие перспективность применения магнитной обработки для интенсификации бактериального выщелачивания, осуществлены Г. С. Агафоновой, В. И. Классеном и Ю. А. Мартьяновым [133]. Следует отметить, что бактериальное выщелачивание успешно и в большом масштабе применяют в Канаде, Англии, США и других странах для экономичной переработки руд с низким содержанием урана, меди и других ценных компонентов. Одной из основных задач, об-

легчающих применение бактериального выщелачивания, является улучшение размножения и продуктивной деятельности бактерий.

Опыты проводили следующим образом. В один сосуд был залит обычный бактериальный раствор, в другой — омагниченный. Деятельность бактерий оценивали по скорости перевода оксида железа — (II) в оксид железа — (III). Если в контрольном опыте этот процесс заканчивался через 10 суток, то в сосуде с омагниченным раствором — на шестые сутки, т. е. скорость процесса возрастает в 1,6—1,7 раза. Микробиологический анализ растворов показал, что магнитная обработка приводит примерно в такой же пропорции к росту концентрации биомассы: в 1 мл контрольного раствора на седьмой день содержалось  $10^5$  клеток, такое же количество клеток в омагниченном растворе содержалось уже на четвертый день.

#### Гидротехническое строительство

Гидромеханизация играет большую роль в гидротехническом, пригационном, промышленном и других видах строительства. Ежегодно на долю гидромеханизации приходится около 250 млн. м<sup>3</sup> работ. При намыве гидротехнических сооружений (плотин, дамб, перемычек и др.), а также при вскрышных работах очень важно, чтобы грунт быстро осел, образовал плотный и прочный осадок, а вода была осветлена до степени, позволяющей использовать ее повторно.

Приведенные в п. 2 гл. II сведения о влиянии магнитной обработки воды и суспензий на коагуляцию и свойства осадков обосновывают перспективность ее применения в гидромеханизации.

И. Е. Замятина [231] на основании предварительных лабораторных опытов провела натурные испытания магнитной обработки пульпы для интенсификации оседания глинистых частиц при разработке Худонского месторождения Сванетского рудоуправления (Грузия). Она установила возможность увеличения скорости оседания на 25—30%.

Ю. Н. Водяницкий и Ю. Б. Осипов исследовали упрочнение намывных глинистых грунтов магнитной обработкой пульпы [13, с. 237—243]. Лабораторные

опыты с различными глинами и суспензиями были проведены в полевых условиях при намыве глинистого грунта на гидроотвале «Шевалев Я.» в районе г. Белгорода. Обработку пульпы проводили в соленой воде, в котором число витков убывало по направлению движения пульпы. Оставляя в стороне соображения авторов о механизме наблюдаемых явлений, представляющиеся нам спорными, приведем лишь конечные результаты полевого эксперимента. Прочность грунта, намываемого после магнитной обработки, оказалась в 2 раза выше, чем без магнитной обработки, влажность была соответственно на 10% ниже. Меньше была и так называемая «трещинная пустотность» (в 1,5—1,7 раза). Это направление повышения эффективности гидромеханизации и гидростроительства заслуживает всемерного внимания.

### Борьба с коррозией

При описании электрохимических эффектов (см. с. 83) отмечалось изменение скорости коррозии различных металлов в омагниченной воде и растворах кислот. Этот эффект можно использовать для практических целей.

Опыты показывают, что омагничивание водных систем позволяет уменьшить коррозию ряда металлов. Опыты проводили в лабораторных и полупромышленных условиях [78, с. 17]. Магнитной обработке подвергали дистиллированную воду, в которой был растворен хлористый натрий (концентрация хлора 150 мг/кг). В этот раствор погружали пластинки из стали 40ХН. Напряженность магнитного поля изменяли от 13,6 до 160 кА/м. Скорость раствора составляла 1,5 м/с. Обрабатываемый раствор проходил по стеклянной трубке, при этом он четыре раза пересекал магнитное поле. Температура раствора 100 °С. Контроль коррозии осуществляли весовым и электрохимическим способами; кроме того, определяли концентрации газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ) и величину рН. Электрохимический контроль заключался в определении потенциала стальных пластин (электродов) в исследуемых растворах по отношению к хлор-серебряному электроду сравнения. В опытах использовали катодный вольтметр ЛПП-60 м.

Результаты опытов показали, что при определенной напряженности магнитного поля (40 кА/м) коррозия

стали уменьшается на 20%. При смежных напряженностях магнитного поля эффект снижается и при напряженностях поля 0 и 80 кА/м он равен нулю. Противокоррозионные свойства омагниченного раствора сохраняются довольно долго: через 24 ч после обработки раствора эффект снижался на 40—50%. Параллельно проводившиеся определения концентрации кислорода в растворе с ростом напряженности магнитного поля показали, что эта концентрация изменяется, достигая минимальной (6,5 мг/кг) при напряженности поля 13,6 кА/м; рН значимо не изменяется. Симбатно изменению степени коррозии изменялось и электроотрицательное значение электродного потенциала стали. Эти результаты опытов, представляющиеся нам достоверными, дают основания к следующим выводам (несколько отличающимся от выводов, сделанных в работе [78]):

магнитная обработка водного раствора хлористого натрия при определенной напряженности магнитного поля позволяет существенно снизить степень коррозии стали, находящейся в этом растворе;

данная зависимость носит экстремальный характер;

эффект лишь частично может быть связан с понижением концентрации кислорода. При экстремальной напряженности (41 кА/м) концентрация кислорода уменьшается всего на 0,7 мг/кг. Причины уменьшения степени коррозии требуют изучения.

Результаты рассматриваемых опытов находятся в противоречии с гипотезой, приведенной в работе [78], согласно которой единственным эффектом магнитной обработки является коагуляция мельчайших ферромагнитных частиц, ускоряющая процессы кристаллизации. С этих позиций нельзя объяснить ни изменения степени коррозии, ни изменения концентрации кислорода, ни экстремальной зависимости этих изменений от напряженности магнитного поля.

Лабораторные опыты были проверены на полупроизводственной установке: на стенде с замкнутым циркуляционным контуром, имитирующим систему охлаждения двигателя внутреннего сгорания; воду многократно пропускали через магнитное поле (кратность циркуляции составляла 65—70 в час); продолжительность одного цикла 48 ч (всего было проведено три цикла). Все остальные условия были те же, что и при проведении

лабораторных опытов. С раствором контактировали пластины стали, алюминия и чугуна. Результаты трех циклов таковы: в омагниченных растворах коррозия стали снизилась на 87,8%, алюминия — на 88,2% и чугуна — на 68,3%. Увеличение противокоррозионного действия (для стали в 4—5 раз) свидетельствует о целесообразности многократной магнитной обработки данного раствора.

Близкие результаты получены и А. Н. Шаховым. Он подвергал магнитной обработке дистиллированную жидкость (концентрированный водный раствор солей, преимущественно хлоридов). В раствор помещали образцы из Стали 20, сплава алюминия с бронзой и медные пластинки. Напряженность магнитного поля в опытах с образцами стали составляла 5 кА/м, с образцами алюминия с бронзой 35 кА/м и с образцами из бронзы 100 кА/м. При этом коррозия уменьшалась соответственно на 25, 25,6 и 64,3%.

Снижение коррозии металлов в омагниченных водных растворах, как справедливо отмечает Е. Ф. Тебенихин, может быть наиболее эффективным при циркуляции растворов через магнитные поля (в замкнутых системах охлаждения двигателей внутреннего сгорания, в системах оборотного водоснабжения водяного отопления с чугунными котлами и др.).

А. П. Караваева, А. А. Жидконожкина и И. К. Маршаков провели развернутое исследование коррозионной стойкости металлов при омагничивании деионизированной воды (начальное удельное сопротивление 13 МОм·см); обессоленной в равновесии с  $\text{CO}_2$  воздуха ( $\rho = 1$  МОм·см) и водопроводной ( $\rho = 0,005$  МОм·см). В ряде случаев отмечено значительное, хотя и не однозначное изменение скорости коррозии [250, с. 26].

#### Обезжелезивание и стабилизация минерализованных подземных вод

При эксплуатации высокоминерализованных вод серьезные осложнения вызывает зарастание стенок труб и резервуаров. Железо в минеральных водах, используемое для лечебного питья, является биологически активным фактором и его следует сохранять в растворе. Но при применении воды для лечебных ванн и лечебно-

плавательных бассейнов его присутствие в воде нежелательно. Очень важным является сохранение карбонатного равновесия в растворе и обеспечение концентрации свободного диоксида углерода в пределах 1,2—1,4 г/л. При нарушении этого равновесия снижается бактериологическая эффективность воды и возникает интенсивное солеотложение в системах. На чистку и ремонт аппаратуры на курортах Кавказских минеральных вод ежегодно расходуется более 100 тыс. рублей.

Опыты Ю. И. Федькушова показали, что обезжелезивание воды, связанное с окислением железа, может быть усилено магнитной обработкой воды перед аэрацией (вспомним наши данные о влиянии магнитной обработки на концентрацию кислорода в растворе и, возможно, на его химическую активность). При этом резко снижается отложение солей жесткости, изменяется и характер этих отложений. Установлена возможность резервирования углекислых минеральных вод, обеспечивающего сохранение на 95—100% растворенный диоксид углерода. Только для одного курорта Ессентуки годовой экономический эффект равен 39 тыс. руб. [232].

#### Пищевая промышленность

Президент фирмы «Эпюро» Т. Вермайрен в свое время информировал автора книги о широком использовании магнитной обработки в виноделии. Интересные результаты в этой области получены и в Советском Союзе.

Е. А. Сидорова и Г. Ш. Дандамаев сообщили об использовании омагничивания вин с целью их осветления. После оптимизации режима обработки мутного крепленого виноматериала, содержащего большое количество натриево-калиевых солей винной и щавелевой кислоты, а также дрожжи, качество вина было значительно улучшено. Эти же авторы испытали и магнитную обработку сусла для улучшения его осветления [233, 250, с. 101]. Известно, что качество столовых виноматериалов в значительной мере определяется степенью осветления сусла перед брожением. Существующие способы не всегда гарантируют быстрое и качественное осветление сусла, поэтому исследователи все чаще обращаются к новым направлениям: ферментативным и физическим методам его обработки.

Исследовано влияние магнитного поля на седиментационный процесс отстаивания сусла. На основании многочисленных лабораторных опытов установлены условия достижения максимального эффекта омагничивания: совместная обработка с адсорбентами, соблюдение последовательности и определенных режимов омагничивания и др.

Испытания проводили с сусликом винограда сорта Ркацителли, полученным на линии переработки ВПЛ-20М после часового настоя на мезге в отстойнике непрерывного действия. Суслик насосом прокачивали через магнитный аппарат со скоростью 1 м/с, после чего оно распределялось в отстойные емкости. Оклейку суслика проводили бентонитовой суспензией и раствором пищевого полиакриламида (ПАА). Через каждый 3, 6 и 18 ч контролировали скорость и качество осветления.

Производственная проверка показала высокую эффективность омагничивания суслика при его последующей обработке бентонитом или ПАА: в первые 3 ч в опытных вариантах достигался такой эффект осветления, какой в контрольных отмечен лишь через 18 ч. Через 6 ч объем осветленной части в опытных вариантах составлял 68—72%, а в контрольных 49—50%. Кроме того, отмечено увеличение скорости фильтрации на 25—30%. Вполне удовлетворительные результаты получены при обработке омагниченного суслика только бентонитом. По сравнению с контрольным образцом выход осветленной части возрос на 8% при лучшем качестве осветления. Отмечены общее качественное улучшение сухих виноматериалов, полученных из опытного суслика (их гармоничность, чистота букета и высокая прозрачность).

Д. М. Гаджиев с соавторами установили, что магнитная обработка при напряженности поля до 40 кА/м оказывает стимулирующее воздействие на бродильную способность дрожжей, более высокая напряженность вызывает угнетающее воздействие. Ими же показано, что такая обработка приводит к увеличению энергии брожения, что коррелирует со скоростью сбраживания виноградного сока [234].

И. Г. Чумак, А. В. Овсянник и В. С. Мурашов омагничивали воду и сливочную смесь мороженого слабыми (до 140 кА/м) полями. Установлено сокращение продолжительности процесса кристаллизации на 10—30%

и уменьшение расхода холода во фризере на 14,5% (либо при той же холодопроизводительности можно увеличить производительность фризера на 17%). Еще больший эффект возможен при производстве искусственного льда [250, с. 103].

## 9. ПРИМЕНЕНИЕ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

В последние годы получено много данных о положительном влиянии на рост растений различных физических воздействий — жесткого излучения, электрического тока, магнитных полей. Существенные результаты достигаются относительно простыми средствами. Кроме того, открываются значительные перспективы освоения засоленных земель, использования соленых вод для орошения. Перспективность применения магнитной обработки воды для орошения посевов и рассоления почв вытекает из приведенных в гл. II данных об изменении физико-химических и биологических свойств омагниченной воды.

Обобщение и анализ всего комплекса работ в области сельского хозяйства позволили нам обосновать большую важность этого направления использования омагниченной воды [134].

### Орошение посевов

Первые сведения об улучшении роста растений при поливе водой, прошедшей предварительную магнитную обработку, опубликованы И. В. Дардымовым, И. И. Брехманом и А. В. Крыловым в 1965 г. (Институт биологически активных веществ Дальневосточного филиала СО АН СССР). В тепличных условиях высевали семена растений в цветочные горшки. Контрольные и подопытные растения поливали водой один раз в день, но подопытные поливали омагниченной водой (дистиллированной или водопроводной). В первой серии опытов на двенадцатый день отмечено, что с применением омагниченной воды высота подсолнуха увеличилась на 21%, высота сои — на 40%. Толщина стебля оказалась достоверно большей (на 26%) только у кукурузы, но увеличение ее высоты было менее заметно.

Ниже приводим выдержку из работы этих авторов: «Таким образом, вода, обработанная магнитным полем,

Таблица 50. Влияние магнитной обработки воды на урожайность риса

Урожай		Расход воды на 1 ц урожая	
ц/га	%	м <sup>3</sup> /ц	%
<i>Орошение обычной водой</i>			
42,2	100	560	100
<i>Орошение омагниченной водой</i>			
50,0	118	475	85

оказывает благотворное влияние на рост и развитие подсолнуха, кукурузы и сои, а также увеличивает урожай сои, не влияя на влажность и жирность ее бобов» [235].

В 1967 г. В. В. Лисин и Л. Г. Молчанова (Семипалатинский мединститут) опубликовали результаты своих опытов, проведенных в теплицах. При использовании омагниченной воды высота лука и моркови увеличилась на 22%, гороха — подземной части на 37%, надземной — на 14%, помидоров — на 18%. Отмечено ускорение начала цветения помидоров на 2 дня и увеличение на 18% массы плодов [236].

В 1973 г. Н. А. Волконский (Кубанский сельскохозяйственный институт) опубликовал результаты опытов полива риса омагниченной водой в Казахстане (1970 г.) и на Кубани (1971 г.), приведенные в табл. 50 [237].

В течение 1971—1980 гг. Н. П. Яковлев и К. И. Колобеньков проводили систематические опыты в вегетационном домике и на полях опытно-производственного хозяйства Волжского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации. Результаты опытов 1971—1972 гг. «...свидетельствуют о том, что при поливе гороха, сои, редиса, помидоров, огурцов, кукурузы и других сельскохозяйственных растений омагниченной водой последние лучше развиваются, на 1—3 дня раньше наступают фазы цветения и созревания, на 10—45% повышается урожайность». В 1973 г. опыты проводили на делянках при стандартном удобрении почвы. На рис. 101 показаны культуры, выращенные при поливе обычной и омагниченной водой.

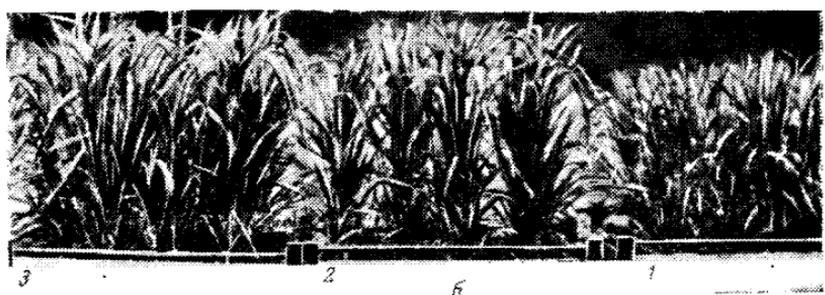
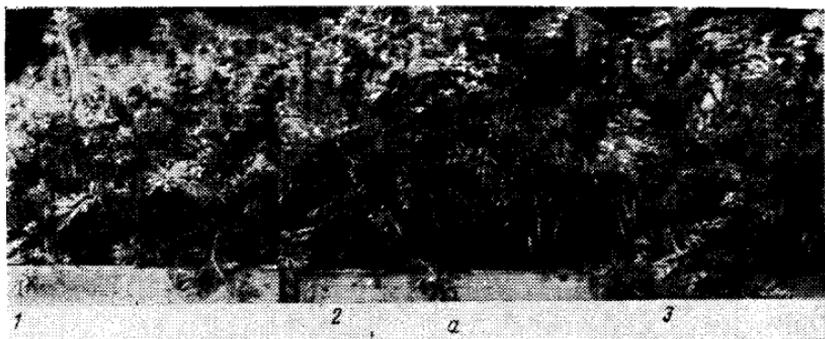


Рис. 101. Фотографии растений, поливаемых обычной и омагниченной водой:  
*а* — морковь; *б* — яровая пшеница; *в* — свекла; *1* — обычная вода (контроль);  
*2* — вода, подвергнутая однократной обработке; *3* — то же, двукратной обработке.

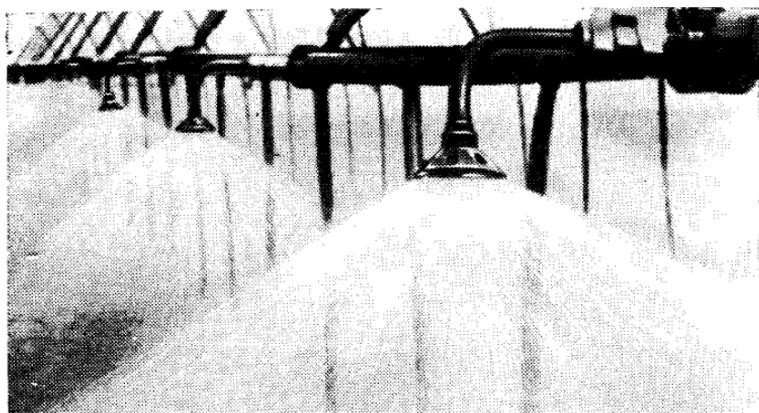


Рис. 102. Крыло поливного агрегата ДДА-100М, оснащенное магнитными приставками (1).

Существенная прибавка урожая получена при поливе омагниченной водой и других культур: сои «Амурской-41» — на 28%, свеклы кормовой — на 20%, лука — на 29%.

С 1974 г. опыты проводились в производственных условиях при поливе яровой пшеницы агрегатом ДДА-100М (рис. 102), одно крыло которого работало в обычном режиме, второе же было оснащено небольшими приставками из алюминия с постоянными магнитами (20×30 мм), конструкция которых приведена в [238]. Напряженность магнитного поля не превышала 4 А/м. Соблюдалось полное гидравлическое подобие обоих крыльев. Площадь опытного и контрольного участков равнялась 2,5 га. В 1980 г. опыты были резко расширены и проводились на опытном и контрольном участках площадью по 48 га каждый, с поливом дождевальными аппаратами «Фрегат» (рис. 103).

В 1974—76 г.г. опыты проводили с яровой пшеницей Инна-6,6, в 1977—79 г.г. — с «Верлд-Сидз 1877», в 1980 г. — с яровой пшеницей районированного сорта «Саратовская-52» (в колхозе им. XIX партсъезда Энгельсского района Саратовской области). Агротехнические мероприятия по возделыванию яровой пшеницы проводили по технологической карте в строго идентичных условиях. За каждый вегетационный период в за-

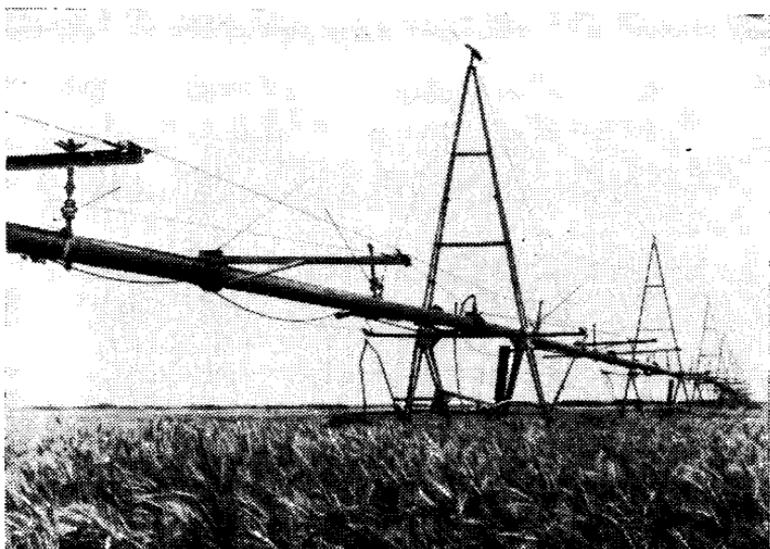


Рис. 103. Поливной агрегат «Фрегат» с магнитными приставками 1.

висимости от погодных условий проводилось 3—5 поливов из расчета 600—700 м<sup>3</sup>/га (при влажности почвы в расчетном слое 70—80% ППВ). Результаты опытов приведены в табл. 51.

Фенологические наблюдения в процессе вегетации яровой пшеницы показали, что при поливе омагниченной водой всходы и фазы развития растений наступали на 1—3 дня раньше, чем при поливе обычной водой. В первом случае наблюдалось более мощное развитие надземной массы, заметное уже в фазе кущения. Математическая обработка полученных результатов показала, что их точность превышает 95—98%. Поэтому можно считать, что *полученная в полевых условиях прибавка 15—20% к урожаю является достоверной*. В первом приближении выяснена агрохимическая причина столь существенного повышения урожайности. Н. П. Яковлев и К. И. Колобенков установили, что орошение омагниченной водой способствует развитию более мощного ассимиляционного аппарата, накоплению большого фотосинтетического потенциала, сухой надземной биомассы.

Снижение щелочности почвы (примерно до нейтральной реакции) *способствует превращению азота,*

Таблица 51. Влияние магнитной обработки поливной воды на урожайность яровой пшеницы (в полевых условиях)

Годы	Площадь опытного и контрольного участка, га	Урожай, ц/га, при поливе водой		Прибавка к урожаю при поливе омагниченной водой	
		обычной	омагниченной	ц/га	%
1976	2,5	42,5	49,0	6,5	15,3
1977	2,5	43,0	51,5	8,5	19,8
1978	2,5	43,0	50,4	6,6	15,1
1979	2,5	17,5	21,6	4,1	23,4
1980	48,0	26,6	31,3	4,7	17,7

Примечание. В 1979 г. предшественником была соя, под посевы которой в 1978 г. были внесены большие дозы почвенных гербицидов, учитывающие повлиявших на рост и развитие пшеницы.

фосфора и калия в более усвояемую растениями форму. Содержание этих элементов в образцах растений, поливаемых омагниченной водой, оказалось на 10—15% выше, чем в контрольных [250, с. 142].

Следует отметить, что оснащение агрегата ДДА-100 М магнитными приставками обходится около 300 руб., реальный же экономический эффект составляет в среднем 50 руб./га в год. Полив омагниченной водой яровой пшеницы одного лишь Поволжья дает годовой экономический эффект 2,5 млн. руб.

Отмечено и другое положительное влияние омагничивания поливной воды на рост растений. Во Всесоюзном институте электрификации сельского хозяйства в 1977 г. исследовалось влияние омагниченной воды на укоренение зеленых черенков плодоягодных культур. В случае легкоукореняемых культур эффект оказался весьма существенным. Например, укоренение сливы «Память Тимирязева» на 11% превышало укоренение контрольных образцов. Отмечено увеличение суммарной длины корней первого порядка, приходящихся на один черенок, для смородины на 13,9% (по сравнению с контролем). Использование омагниченной воды для трудноукореняемых пород не дало положительных результатов.

В Венгрии Иштван Падоч (István Padoch) отметил увеличение длины стеблей с 135 до 165 мм, а также зна-

чительно большее развитие корневой системы при применении омагниченной воды.

В Агрофизическом научно-исследовательском институте (Н. Ф. Бондаренко, Е. З. Гак, Э. Х. Рохинсон) для магнитной обработки поливной воды использовали магнитофоры. Так называют своеобразные приспособления для магнитной обработки, изобретенные А. С. Фефером (Авт. свид. СССР № 445438). Они представляют собой намагниченные особым образом пластины резины, в которые вводятся зернышки ферромагнитного вещества. Изменяя форму пластин индуктора, получают магнитофоры с полем любой заданной конфигурации и полярности, с напряженностью от 160 А/м до 160 кА/м и градиентом от 0,8 до 8000 А (м/мм). Достоинством магнитофоров является их дешевизна и простота в эксплуатации. Недостаток магнитофоров — малый радиус действия. На расстоянии 15 см от поверхности магнитофора напряженность магнитного поля снижается примерно в 10 раз.

Омагничивание поливной воды в магнитофорном шланге, проведенное указанными авторами в совхозе «Беседский» Ленинградской области, показало значительное увеличение урожая огурцов сорта «Грибовский» в пленочной теплице. В 1976 г. урожай возрос на 50%, в 1977 г. — на 20%. Значительный эффект получен при контактировании семян пшеницы с магнитофорами в течение 1 мин. Всхожесть семян пшеницы возросла на 7%, ячменя на 33%; высота пшеницы через месяц после посева увеличилась на 15%, ячменя — на 20%. После такой же обработки семян капусты, свеклы и огурцов урожай этих культур возрос на 15—20%. Отмечено также бактерицидное действие магнитных полей на семена — уничтожение действия плесени.

В Куйбышевском сельскохозяйственном институте Э. И. Резаев в теплицах совхоза «Овощевод» омагничиванием поливной воды добился повышения урожая огурцов на 20%.

Н. А. Волконский, В. И. Чаленко и Б. К. Нерознак в 1975—1976 г.г. провели крупномасштабные опыты по магнитной обработке оросительной воды в зерносовхозе «Кубанский» Краснодарского края. Речную воду обрабатывали шестью параллельно установленными магнитными аппаратами местного производства. Было вы-

делено два совершенно идентичных участка — опытный (5,5 га) и контрольный (6,1 га). В 1975 г. урожай гороха и овса на участке, поливаемом омагниченной водой, был на 21% больше, чем на контрольном участке. В 1976 г. урожай сахарной свеклы возрос при поливе омагниченной водой на 14%. Одновременно отмечена возможность снижения расхода оросительной воды на 11—18%, а также удаление из активного слоя почвы до 23% солей. Результаты полевых опытов в Поволжье и на Кубани показали хорошее соответствие.

С. М. Мамедов (Азербайджанский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации) подвергал омагничиванию минерализованную (14 г/л) воду Каспийского моря, которую затем использовал для орошения овощных и кормовых культур, что привело к существенному повышению урожайности (в ц/га):

Культура	Обычная вода	Омагниченная вода
Томаты	110,7	160,1
Баклажаны	77,4	161,4
Кукуруза (зеленая масса)	96,7	127,3
Сорго (зеленая масса)	122,7	146,5

О. Назармамедов, Н. О. Беглиев (Туркменский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации) подвергали омагничиванию поливную воду для орошения хлопчатника на поле площадью 6 га (колхоз «Правда» Тедженского района), что привело к повышению урожая этой культуры на 5—7 ц/га.

Таким образом, *магнитная обработка воды позволяет значительно повысить урожайность различных сельскохозяйственных культур*. По-видимому, при омагничивании воды играют роль следующие факторы: агрегация частиц почвы, улучшение растворения и использования растениями питательных веществ, ускорение их доставки к корням и повышение проницаемости биологических мембран (приводящее к улучшению усвоения питательных веществ растениями).

Появились и другие данные, свидетельствующие об улучшении усвоения растениями питательных веществ, вносимых в почву, в случае полива омагниченной водой. М. Марков из Софийского университета провел опыт на участке 40 м<sup>2</sup>, на котором выращивались помидоры

[239]. Полив осуществлялся артезианской водой, на одном участке — омагниченной, на контрольном — обычной. Остальные условия были строго стабилизированы. На опытном участке урожай помидоров возрос на 21%, в плодах содержалось на 10% больше минеральных солей, что свидетельствует о повышении качества помидоров. Через 3 месяца содержание азота и бора в растениях возросло соответственно на 12 и 24,6%.

Эргун Ар (Ergun Ar) сообщает об опытах полива омагниченной водой помидоров (факультет ботаники Мичиганского университета) [240]. Сто кустов помидоров посадили в бедную почву и 100 — в удобренную, плодородную. Каждый участок разделили пополам и поливали обычной и омагниченной водой. Для бедной почвы существенного различия не обнаружено, а для плодородной почвы различие было заметным: «растения, поливаемые магнитной водой, по всем показателям превосходили контрольные на 30%. ... Можно предполагать, что обработка воды влияет на кальциевый баланс и на усвоение растениями питательных веществ».

Наконец, появились в печати сведения болгарских исследователей о резком улучшении развития томатов при их поливе омагниченной водой. В газете «Работническо дело», № 137, 17 мая 1981 г. сообщается, что на площади 2700 м<sup>2</sup> увеличилась скороспелость томатов на 26% и 53% возросла их урожайность (с 150 до 230 ц/га). При этом в плодах повысилось содержание витамина С, сахара и сухого вещества.

Следует подчеркнуть, что повышение эффективности использования удобрений является важнейшей государственной задачей.

#### **Замачивание семян**

Первые сведения о положительном влиянии на урожай магнитной обработки воды для предпосевного замачивания опубликованы в 1971 г. А. И. Лебедиком и Т. А. Золотаревой (Кубанский научно-исследовательский институт испытания тракторов и машин). Работы начаты в 1966 г. Обработке подвергали водопроводную воду, которую пропускали через очень слабые магнитные поля 0,8—2,4 кА/м. Объектом исследования служили три сорта свеклы «Рамонская-0,6», «Ялтушковский

гибрид» и «Кубанский полигибрид-9». Размер делянок составлял 27 м<sup>2</sup>, а затем 120 м<sup>2</sup>; повторность — четырехкратная. В результате урожайность возросла на 7—16% [241].

В 1967 г. и 1968 г. были проведены контрольные опыты на площадях 4 и 15 га. Полевая всхожесть повысилась на 10 и 9%, урожай корней на 22 и 33 ц/га (соответственно). В 1969 г. в двух колхозах семенами, замоченными в омагниченной воде, было засеяно 47 и 8 га. Повышение урожая составило 9% [242].

Н. А. Волконский, замачивая семена риса в омагниченной воде, а не в обычной, повысил урожай с 42,2 до 48,2 ц/га (на 14%).

#### Рассоление почв

Не обосновывая очевидную огромную важность этой проблемы, отметим, что возможность использования омагниченной воды для рассоления почв обусловлена ее повышенной растворяющей способностью, что наблюдалось неоднократно.

М. А. Асатрян и В. Э. Статанян («Армгипроводхоз») проводили опыты на почвах опытно-дренажного пункта. Ими установлено, что плотность омагниченной воды, прошедшей через слой почвы, на 0,1 г/см<sup>3</sup> больше, чем неомгниченной, а фильтрация — в 2 раза выше. В первом случае из 100 г почвы выносятся солей на 10 г больше, чем во втором. Если подвергать магнитной обработке 5%-ный водный раствор технического железного купороса, то полученный мелиорант выносит из 100 г почвы на 20 г больше солей, чем обычная вода.

В работе В. Э. Статанян и А. А. Оганесян [24, с. 150] приведены результаты опытов с образцами почвы, содержащими, %:

CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0,019	Ca <sup>2+</sup>	0,082
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,066	Mg <sup>2+</sup>	0,006
Cl <sup>-</sup>	0,572	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	1,072
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1,663		

Сухой остаток составлял 3,46 мг/л. Магнитной обработке подвергали воду, содержащую (мг-экв/л): HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> — 1,94; Cl<sup>-</sup> — 0,79; Ca<sup>2+</sup> — 1,16; Mg<sup>2+</sup> — 0,76. Сухой остаток составлял 372 мг/л. Этими исследователя-

ми установлено, что при оптимизированном режиме магнитной обработки омагниченная вода вымывает в 4—5 раз больше солей, чем обычная.

В Волжском НИИГиМе под руководством Н. П. Яковлева, начиная с 1973 г., проводилась сравнительная оценка эффективности промывок засоленных почв тяжелого механического состава растворами соляной кислоты и омагниченной водой, на фоне прерывистой подачи воды. Опыты проводили как в лаборатории в насыпных колонках и монолитах с ненарушенной структурой, так и в полевых условиях — на лизиметрах (с монолитами почв ненарушенной структуры) высотой 2 м и поперечным сечением около 0,8 м<sup>2</sup>, а также на полевых делянках площадью 25 и 100 м<sup>2</sup>. Магнитная обработка воды осуществлялась аппаратами ПМУ завода им. Войкова. Минерализация обрабатываемой воды изменялась от 0,7 до 7,5 г/л.

Тип засоления промываемых почв — хлоридно-сульфатно-натриевый. Содержание водорастворимых солей в верхних горизонтах — до 2,5%. Их запас в метровом слое — до 225 т/га, в двухметровом — более 340 т/га. В почвах содержится много гипса: до 5,5% на глубине 20 см и до 15—20% на глубине 120—140 см. В этих слоях много и карбонатов кальция. Сумма поглощенных оснований (Ca, Mg, Na, K) составляет 19—22 мг-экв на 100 г почвы. На долю поглощенного натрия приходится 20—25% от этой суммы.

При применении химических мелиорантов почва перед промывкой насыщалась 0,5- и 1%-ным раствором соляной кислоты в количестве, равном дефициту влаги, до наименьшей влагоемкости. Расход соляной кислоты составлял 8,6; 17,2; 25,0 и 34,4 т/га.

Опыты, проведенные в насыпных колонках, показали, что омагничивание воды повышает начальную скорость фильтрации на 20—30%, способствует улучшению агрегатного состава верхних слоев, в которых вследствие коагуляции уменьшилось содержание тонких частиц (менее 0,005 мм). В почвах после промывки омагниченной водой *увеличивается содержание подвижных форм фосфата*, повышается нитрификационная способность в верхних горизонтах (табл. 52).

Промывка двухметрового монолита засоленной почвы показала, что омагниченная вода вымывает на 18—

Таблица 52. Изменение содержания элементов питания растений после промывки почвы обычной и омагниченной водой (мг на 100 г почвы)

Показатели	Глубина, см	
	0—20	20—40
Содержание до промывки		
N	0,5	0,27
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	6,6	4,0
K <sub>2</sub> O	75,3	57,8
Содержание после промывки обычной водой		
N	—	0,1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	7,0	3,0
K <sub>2</sub> O	55,4	42,2
Содержание после промывки омагниченной водой		
N	3,7	0,6
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	8,2	4,5
K <sub>2</sub> O	53,6	41,6

32% больше солей, чем обычная (в том числе и с применением соляной кислоты в качестве мелиоранта). Близкие результаты получены и на поливных делянках:

	Вымыто токсичных солей	
	т/га	%
Обычная вода	54,5	100,0
1%-ный раствор HCl	55,8	102,4
Омагниченная вода	65,7	120,5

При этом полнее вымывались наиболее трудноудаляемые сульфаты натрия. Более 70% солей вымывается в первые такты промывки. Эффективность омагничивания сохраняется и при минерализации воды до 7—8 г/л. По расчетам автора работы, экономический эффект омагничивания промывной воды составляет около 75 руб/га.

Е. Н. Гусенков и С. Г. Кочетков (Союзводпроект) также сообщают о том, что омагниченная вода вымывает из почвы значительно больше солей, чем обычная [243].

Расширенные полевые испытания проведены в 1974—1975 гг. Агрофизическим институтом совместно с «Гипроводхозом» и трестом «Таджикцелинстрой» в совхозе

«40 лет Таджикистана» (Зафарабадский район Голодной степи Таджикской ССР). Этим испытаниям предшествовали удачные лабораторные опыты. Испытания проводили на наиболее засоленном участке почвы 10 га с однородным засолением. Были предусмотрены чеки и устройства для дренажа. Пробы грунта отбирали в трех точках с каждого гектара с глубин 0,3; 1,0 и 1,5 м до и после промывки. Промывку проводили методом затопления при расходе воды 180 м<sup>3</sup>/ч. Время заполнения одного чека составляло 6 ч, продолжительность одного этапа промывки была равна 10 суткам. Число промывок зависело от промывной нормы. При содержании солей в почве более 2,5% эта норма составляла 12 тыс. м<sup>3</sup>/га (три этапа по 4 тыс. м<sup>3</sup>/га). Общая продолжительность промывки составляла 1,5 месяца. Магнитную обработку осуществляли в аппарате послыоочистка типа, изготовленном московским заводом «Котлоочистка», производительностью 2000 м<sup>3</sup>/ч; удельный расход электроэнергии на 1 м<sup>3</sup> воды составлял всего 2,5 Вт (стоимость обработки 1 м<sup>3</sup> тысячные доли копейки). Результаты испытаний приведены в табл. 53 [244]. Из табл. 53 видно, что омагниченная вода примерно вдвое больше вымывает солей из почвы, чем обычная.

При этом извлекаются те соли, которые в контрольных опытах не вымываются вообще, например ионы

Таблица 53. Эффективность расщеления земли в Голодной степи обычной и омагниченной водой

Глубина, м	Запас солей в почве						Внесено солей при промывке водой			
	до промывки		после промывки водой				обычной		омагниченной	
			обычной		омагниченной					
	%	т/га	%	т/га	%	т/га	т/га	%	т/га	%
0—0,3	2,9	126	2,3	100	1,6	70	26	100	56	216
0,3—1,0	2,4	242	1,9	192	1,4	142	50	100	100	200
1,0—1,5	1,7	123	1,4	102	1,3	94	21	100	29	138
Суммарная глубина:										
0—1,0		368		292		212	76	100	156	205
0—1,5		491		394		306	97	100	185	192

Таблица 54. Вымывание из почвы различных анионов обычной и омагниченной водой (в %)

Анион	Вода	
	обычная	омагниченная
Cl <sup>-</sup>	30	50—80
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	15	30
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0	30

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (табл. 54), замедляется накопление в почве ионов магния. В омагниченной воде концентрация кислорода увеличивается на 10%.

С рассолением почв тесно связана и проблема полива растений соленой водой. Соленую воду нельзя применять по двум причинам: 1) прежде всего, происходит отложение солей в растениях, что задерживает межклеточную циркуляцию и 2) соли жесткости отлагаются в капиллярах почвы, делая ее водонепроницаемой. Во Франции в 1960 г. выдан патент № 1206631 (класс А019), предусматривающий возможность полива растений жесткой водой, в том числе морской, после ее предварительной магнитной обработки. Полевые опыты, проведенные на высокоизвестковых почвах с жесткой засоленной водой, богатой сульфатами кальция, магния и хлористым натрием, были удачны. Такую воду уже применяют на Балеарских островах. Принципиально указанный прием не представляется невозможным, поскольку в этом случае, очевидно, предотвращается образование инкрустаций в порах. В нашей стране такие опыты проведены Ш. М. Алиевым и Д. М. Агаларовым. Полив сельскохозяйственных культур омагниченной каспийской водой с минерализацией 14 г/л позволил значительно повысить урожай сорго (на 45%) и кукурузы (на 30%) [250, с. 87].

#### Птицеводство, животноводство

Наблюдения за изменением биологических свойств природной воды после магнитной обработки обусловили попытки ее использования для питья курам и животным. Основанием использования омагниченной воды в птицеводстве явилась работа Б. В. Криштофоровой,

экспериментально исследовавшей влияние этой воды на рост и развитие некоторых костей скелета кур [245]. Исследовались трубчатые кости, кости тазового и плечевого пояса, грудная кость и другие от 160 кур породы «Леггорн» в возрасте 1, 15, 30, 60, 120, 180, 240 и 540 дней. Установлено, что «...применение омагниченной питьевой воды вызывает у цыплят изменение интенсивности костеобразовательных процессов» в сторону их ускорения.

Независимо друг от друга были проведены исследования в производственных условиях в трех пунктах (в Орехово-Зуеве, Подмосковье и Воронеже), давшие сходные результаты. В. М. Можаров, А. Крючков и Ю. Иванова при участии нашей лаборатории провели опыты на орехово-зуевской птицефабрике (с 19 апреля по 28 июня и с 9 июня по 26 июня). Они поили омагниченной водой цыплят и кур. Для обработки воды использовали небольшие ферро-бариевые шайбы; напряженность магнитного поля составляла 240 кА/м, вода протекала со скоростью 6 м/с в щелях между ними (аппараты конструкции А. В. Гречко). Наблюдения вели за параллельными батареями: в питьевой желоб одной из них поступала обычная вода, в другой — омагниченная. Все остальные условия работы опытной и контрольной батарей были строго идентичны. Цыплят начинали поить с однодневного возраста и заканчивали через 70 дней.

Отмечено улучшение всех показателей в случае использования омагниченной воды. Среднесуточный привес цыплят возрастает на 5%, в основном за последние 15—20 дней. Значительно повышается сохранность птицы; снижение падежа заметно особенно в первые недели.

Опыт использования омагниченной воды для питья курам-несушкам проводился в птичнике № 4 на четырех линиях, в две из которых подавали омагниченную воду. Птица в возрасте 10 месяцев находилась в клетках АПЛ-14. Кросс птицы — «Белый Хайсекс». Время проведения опыта — 17 суток (табл. 55).

Как видно из таблицы, яйценоскость кур увеличилась примерно на 10%, что очень существенно; отмечается также значительное уменьшение вынужденного забоя кур.

Таблица 55. Сравнение результатов использования омагниченной воды для питья курам-несушкам

Показатели	Вода	
	омагничен- ная	обычная
Среднее число кур	6 110	6 559
Число павших кур (за время опыта)	15	17
Вынужденный забой (за время опыта)	57	71
Валовый сбор яиц, шт.	79 560	77 820
Яйценоскость, %	81,2	78,7
Яйценоскость 1 курицы, %	13,01	11,8
Прирост яйценоскости, %	10,25	0

Таким образом, результаты описанных опытов показали, что омагничиванием питьевой воды простейшими магнитными аппаратами, стоимость каждого из которых 12—15 руб., можно значительно повысить эффективность работы птицеферм. Конечно, результаты первого опыта подлежат дальнейшему уточнению в различных условиях и объемах. Но если даже эти результаты будут в 2 раза ниже, то, все равно, только по данной птицефабрике без ощутимых затрат можно получать ежегодно дополнительно 5 млн. яиц и 30 т мяса.

Принципиальное значение имеют многолетние (с 1975 г.) исследования И. В. Хрусталевой и Б. В. Криштофоровой (Московская ветеринарная академия), проведенные с применением комплекса разносторонних методик: морфометрии, микрорентгенографии, микроскопии. Они определяли отношение количеств органических и неорганических веществ в скелете кур. Эти исследователи ежегодно анализировали продуктивность 150 тыс. кур породы «Белый леггорн». Как следует из этих исследований, птицы, которых с первых дней их жизни поили омагниченной водой, имеют лучшие показатели морфологии крови и структуры скелета, что свидетельствует о нормализации их роста и развития. Установлено, что при использовании омагниченной воды количество гемоглобина; Са и Р больше у опытных групп. Все вместе взятое свидетельствует о нормализации роста и развития птиц, что подтверждается снижением в 2—3 раза падежа цыплят и увеличением их мас-

сы, делового выхода, яйценоскости (на 10%). Улучшается также качество мяса.

В. Н. Осадченко (Воронежский трест «Птицепром» Минсельхоза РСФСР) и Я. А. Великовский (Воронежский сельскохозяйственный институт) провели аналогичное исследование в 1979 и 1980 г.г. на двух птицефабриках. Аппараты ПМУ завода им. Войкова были установлены в четырех цехах; половину кур каждого цеха (5000 кур) поили обычной водой и другую половину (также 5000 кур) — омагниченной. Остальные условия (кормление, микроклимат и др.) были совершенно идентичными. Всего сравнивалось 48 тысяч кур. Как следует из опыта, омагничивание воды оказывает четкое биостимулирующее влияние как на яйценоскость кур (возрастающую на 6—7%), так и на рост и привес цыплят.

В области животноводства работы проводились в меньшем объеме и пока не дали столь четких практических результатов. Но биостимулирующее действие омагниченной воды отмечается почти во всех случаях. Б. Д. Клягин проводил опыт в норковом производстве (без оптимизации режима обработки; напряженность поля была очень низкой — 1,6 кА/м). Он отмечает ограничение развития жировой дистрофии печени (достоверное), увеличение размеров самцов и др. [246]. Остальные работы находятся в самой начальной стадии.

#### Народнохозяйственный эффект

Несмотря на начальный характер работ в области использования омагниченной воды в сельском хозяйстве, имеются все основания полагать, что народнохозяйственный эффект будет значительным. При этом надо подчеркнуть еще раз дешевизну и простоту реализации магнитной обработки. Высокопроизводительные (тысячи метров кубических в час) аппараты можно применять в поле на водоводных магистралях и на поливочных машинах. Стоимость обработки 1 м<sup>3</sup> воды составляет тысячные доли копейки. Там, где возникают трудности с электроэнергией, можно применять аппараты на постоянных магнитах (например, аппараты типа, приведенного на рис. 41). Их эксплуатация сводится к про-

чистке и периодическому контролю эффективности омагничивания воды.

Применение омагниченной воды позволяет не только повысить урожайность, что может принести значительный доход, но и значительно сократить расход минеральных удобрений. Народнохозяйственные планы предусматривают невиданный рост их выпуска. Производство удобрений и его рост сопряжены с определенными затратами и трудностями. Больше того, в нашей стране просто нет должного количества богатых фосфорсодержащих руд, способных удовлетворить перспективную потребность сельского хозяйства, а имеющиеся новые месторождения — бедные и труднодоступные. Поэтому даже небольшое увеличение коэффициента использования питательных веществ позволит сэкономить колоссальные средства. *Достижимая экономия эквивалентна расходам на строительство многих огромных горных и химических предприятий.* И такой экономии можно достигнуть простым и дешевым способом — магнитной обработкой воды (естественно, после проведения комплекса завершающих исследований).

Мелиорация земель с освоением новых площадей, являющаяся важнейшей задачей сельского хозяйства, тесно связана с рассолением почв. До сих пор для этой цели применяют различные мелиоранты — растворы различных солей, чаще всего — кислые. Однако, рассоление с помощью мелиорантов не может сочетаться с систематическим поливом; после прекращения подачи мелиорантов подпочвенные воды снова засоляют почву. Орошение же омагниченной воды сдвигает равновесие в сторону смещения солей на глубину и сохраняет это сколько угодно долго.

Таким образом, *применение магнитной обработки воды в сельском хозяйстве представляется исключительно перспективным.*

## 10. ПРИМЕНЕНИЕ В МЕДИЦИНЕ

Описывая изменение биологических свойств водных систем после магнитной обработки (п. 3, гл. II), мы уже привели ряд сведений, свидетельствующих о большой перспективности применения омагниченной воды в медицине. Небезынтересно отметить, что этому направле-

нию в давние времена придавалось большое значение, хотя, конечно, все высказывания по этому вопросу (как и в других областях человеческих знаний) были очень наивны. Например, в книге Г. Дюрвилля [247] отмечаются ранние наблюдения женеvского физика де-Гарсю, а также описываются опыты автора. Он четко, на десятках больных выявил полезность применения примитивно омагниченной воды для лечения органов пищеварения, заживления ран и др. Г. Дюрвиллю даже удалось, в первом приближении, устранить возможность психотерапевтического эффекта.

Не затрагивая область непосредственного воздействия магнитных полей на биологические системы, попытаемся наметить те аспекты применения омагниченной воды в медицине, которые сейчас уже можно прогнозировать, основываясь на описанном выше изменении биологических свойств воды после магнитной обработки, а также на первых экспериментальных сведениях.

Дальше всего (хоть и очень медленно) продвинулись работы в области лечения мочекаменной болезни — особенно в последних клинических опытах Э. М. Шимкуса с сотрудниками [128] и В. М. Пилипенко [130]. Весьма обнадеживающие результаты, полученные в условиях несовершенной магнитной обработки воды, подчеркивают перспективность этого направления. Интересные результаты получены и при использовании омагниченной воды для нормализации артериального давления (см. рис. 44).

Опубликованы первые сведения о возможности лечения омагниченной водой больных атеросклерозом. В. В. Лисин и Е. Н. Иванова провели экспериментальную проверку влияния омагниченной водопроводной воды на некоторые биохимические показатели. Обследованию подвергли 24 человека, больных атеросклерозом [248]. Наряду с общепринятым клиническим обследованием было проведено также исследование сыворотки крови на холестерин, общее количество белка и белковых фракций. Исходное содержание холестерина в сыворотке крови всех больных было повышенным и колебалось от 235 до 443 мг %. После полуторамесячного приема омагниченной воды содержание холестерина в сыворотке крови снизилось на 67—32 мг %.

шинства больных повысилось содержание альбуминов и снизилось содержание  $\gamma$ -глобулинов. Заметно улучшилось общее состояние больных.

Е. В. Утехин, С. В. Суслова и И. Ф. Захаров (г. Сочи, санаторий им. Ленина) изучили лечебное действие омагниченных морских ванн на больных гипертонической болезнью 1-й—2-й стадий и атеросклерозом 2-го периода 1-й стадии. Наблюдалось 32 больных старше 40 лет. В клинической картине ведущими жалобами были головные боли, шум в ушах, боли в области сердца, нарушение ночного сна, раздражительность и утомляемость. Кроме общеклинического обследования у наблюдаемой группы определяли некоторые показатели липидного обмена (бета- и альфа-липопротеиды, общие липиды крови, липазу), а также состояние свертывающей системы крови (время свертывания, свободный гепарин, фибринолитическую активность фибриназа).

В комплекс санаторно-курортного лечения исследуемой группы больных включался курс ванн с омагниченной морской водой (температура 36—37 °С, продолжительность 10 мин через день, курс — 10 ванн). Для получения омагниченной морской воды была сконструирована специальная установка, питающаяся через выпрямитель от сети переменного тока. Напряженность постоянного магнитного поля в установке составляла 80 кА/м.

После проведенного курса лечения у большинства больных исчезали жалобы на головные боли, шум в ушах, утомляемость, боли в области сердца. Почти у всех нормализовался ночной сон. У некоторых отмечена положительная динамика электрокардиографических показателей (улучшение коронарного кровообращения, улучшение обменных процессов в миокарде, уменьшение нагрузки на левый желудочек). В половине случаев электрокардиографические показатели остались без изменений. После проведения курса лечения с омагниченными ваннами артериальное давление у больных гипертонической болезнью имело тенденцию к снижению (до лечения средние цифры АД были на уровне 148,5/87,3; после лечения — 129,5/80,5 миллиметров ртутного столба).

Можно отметить после лечения отчетливое увеличение свободного гепарина и уменьшение времен лизиса

фибриназы, что расценено как положительная динамика у исследуемой группы больных [250, с. 153].

Хорошее действие омагничивания воды при гидромассаже, значительно ускоряющее процесс лечения, отмечает В. В. Батов. Р. И. Михайлова (Центральный научно-исследовательский институт стоматологии) установила, что полоскание рта омагниченной водой значительно способствует удалению зубного камня и устранению воспаления десен. В. А. Данилин, Ю. Л. Свешников, Е. В. Утехин и Е. А. Куликов (Куйбышев, Сочи) лечили больных облитерирующим эндартериитом нижних конечностей ваннами из омагниченной бромно-хлоридно-натриевой воды с общей минерализацией 21 г/л. В группе из 45 человек положительный лечебный эффект получен у 45 больных: значительно ослабла или исчезла симптома перемежающейся хромоты, болей в ногах; существенно улучшились осциллографические показатели и функциональные пробы. Ванны из той же воды, но не подвергнутой магнитной обработке, дали существенно худший эффект [250, с. 156].

С. И. Довжанский и Л. Н. Третьякова (Саратовский медицинский институт) сообщили о перспективах применения омагниченной воды в дерматологии [250, с. 151].

Экспериментальные исследования, проведенные на 20 морских свинках, позволили установить изменение аллергических реакций при сенсibilизации животных 2,4-динитрохлорбензолом после предварительных аппликаций омагниченной водой. Уменьшалась степень интенсивности «реакции восстановления» и снижался титр сенсibilизации. Наблюдения за развитием эритематозной реакции кожи у 30 человек, облученных ультрафиолетовыми лучами, показало более выраженную сосудистую реакцию в участках кожи, подвергнутых воздействию омагниченной водой (укорочение скрытого периода и усиление эритемы и отека).

Установлено также изменение осмотической резистентности лейкоцитов человека при обработке крови омагниченным раствором хлористого натрия.

Клинические наблюдения над больными хроническими рецидивирующими дерматозами свидетельствуют о терапевтическом эффекте аппликаций омагниченной воды в виде влажно-высыхающих повязок на очаги пора-

жения в период обострения экземы и нейродермита. При этом отчетливо уменьшаются островоспалительные явления (степень эритематозной и экссудативной реакции кожи). Результаты исследований позволяли рекомендовать применение омагниченной воды в комплексном лечении аллергических дерматозов.

Особое направление может составить «магнитофармакология» — регулирование и оптимизация действия различных лекарств, применяемых в виде водных систем. Мы уже упоминали выше о ряде положительных эффектов, достигнутых в данной области. К этому можно добавить, что уже появились первые сведения о снижении сенсibilизации — повышенной чувствительности к определенным лекарствам (например, к сыворотке).

Все это пока лишь первые шаги в области применения омагниченной воды в медицине. Однако уже имеющиеся сведения свидетельствуют о перспективности применения омагничивания водных систем в этой области. Ряд медицинских проявлений возможно (гипотетически) связан с тем, что омагничивание водных систем повышает проницаемость мембран.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщение и анализ огромного фактического материала, приведенного в этой книге, убедительно подтверждает высокую научную и прикладную актуальность электромагнитной обработки водных систем.

Несмотря на часто отмечающуюся нестационарность процессов, протекающих в лабораторных условиях, совокупность полученных результатов *не оставляет сомнений в наличии своеобразных изменений различных водных растворов и суспензий после их омагничивания.*

Научное состояние нашей проблемы имеет характер обычный для начального периода развития принципиально новых областей естествознания. Не может быть сомнений в том, что здесь мы имеем дело именно с крупной проблемой естествоиспытательского характера (на что неоднократно указывал в последний период жизни акад. П. А. Ребиндер).

Следует особо подчеркнуть многие соображения (обоснование неравновесного состояния водных систем и др.), которые *полностью снимают теоретический за-*

прет возможности изменения свойств водных систем после их электромагнитной обработки. Это важный этап развития проблемы в течение последних лет. Однако после снятия запрета необходим и следующий шаг — создание основ теории. В связи с этим следует вспомнить слова Р. Тагора, хорошо характеризующие создавшуюся ситуацию: «Вы закрыли дверь, чтобы не проникло заблуждение. Но как же теперь войти истине?»

История изобилует примерами практического применения явлений задолго до их теоретического объяснения. Так и в нашем случае недопустимо медлить с практическим использованием простой и дешевой электромагнитной обработки водных систем во множестве областей народного хозяйства.

Особого внимания заслуживает разработка научных принципов конструирования магнитных аппаратов и организация их централизованного производства для разных целей и условий.

Можно утверждать, что при должном развитии омагничивание водных систем принесет огромную пользу народному хозяйству.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вернадский В. И. Избр. соч., М., Изд-во АН СССР, т. 4, кн. 2, 1960. 280 с.
2. Аллен А. О. Радиационная химия воды и водных растворов. М., Госатомиздат, 1963. 215 с.
3. Летников Ф. А., Кащеева Т. В., Минцис А. Ш. Активированная вода. Новосибирск, Наука, 1976. 134 с.; Летников Ф. А. и др. — ДАН СССР, 1975, т. 222, № 1, с. 204—207.
4. Бернал Дж., Фаулер Р. Усп. физ. наук, 1934, т. 14, № 15.
5. Гуриков Ю. В. Кинетические и физико-химические аспекты явления стабилизации структуры воды электролитами и неэлектролитами. «Знание» Укр. ССР. «Химическая промышленность», Киев, 1980. 20 с.
6. Самойлов О. Я. Структура водных растворов и гидратация ионов. М., Изд-во АН СССР, 1957. 185 с.
7. Зацепина Г. Н. Свойства и структура воды. М., Изд. МГУ, 1974. 48 с.
8. Хорн Р. Морская химия. Пер. с англ. М., Мир, 1972. 399 с.
9. Гуриков Ю. В. — В кн.: Физико-химические аспекты реакции водных систем на физические воздействия. Труды Агрофизического научно-исследовательского института. Л., 1979, с. 159.
10. Pople J. A. — Proc. Roy. Soc., 1951, ser. A, v. 205, № 1081.

11. *Матяш И. В.* Вода в конденсированных средах. Киев, Наукова думка, 1971, 100 с.
12. *Кисловский Л. Д.* — В кн.: Структура и роль воды в живом организме, сб. 1. Л., Изд-во ЛГУ, 1966, с. 171—175.
13. Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем. Сборник второго всесоюзного совещания. М., Цветметинформация, 1971. 316 с.
14. *Бондаренко Н. Ф., Попков В. П.* — В кн.: Физико-химические аспекты реакции водных систем на физические воздействия. Труды Агрофизического научно-исследовательского института. Л., 1979, с. 173—177.
15. *Ершова Г. Ф., Чураев Н. В.* — ЖФХ, т. 53, № 9, с. 2392—2394.
16. *Алекин О. А.* Основы гидрохимии. Л., Гидрометеониздат, 1953.
17. *Мартынова О. И., Гусева Б. Т., Леонтьева Е. А.* — Усп. физ. наук, 1969, т. 98, вып. 1, с. 195—199.
18. *Данилов В. И.* Строение и кристаллизация жидкостей. Киев, Изд-во АН УССР, 1956. 211 с.
19. *Ефанов Л. Н.* — Изд. АН СССР, Сер. хим., 1967, № 3, с. 571.
20. *Glusel J. A.* Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1965, v. 55, p. 479.
21. *Сикорский Ю. А., Вертепная Г. И., Красильник М. Г.* — Изд. вузов. Физика, 1959, № 3, с. 12—14.
22. *Cini R.* — *Acqua Ind.*, 1962, № 18.
23. *Миллер Э. В., Классен В. И., Кущенко А. Д.* — ДАН СССР, 1969, т. 184, с. 136—138.
24. Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем. Сборник третьего всесоюзного совещания. Новочеркасск, Изд-во Новочеркасского политехнического института, 1975. 265 с.
25. *Bordi S., Papeschi G.* — *Geof. e meteorol.*, 1965, v. 14, № 1—2.
26. *Дерягин Б. В., Чураев Н. В.* Новые свойства жидкостей. М., Наука, 1971, 175 с.
27. *Вонсовский С. В.* Современное учение о магнетизме. М., Гостеоретиздат, 1953. 182 с.
28. *Gabrera I., Falenbrach H.* — *Zeitschrift für Physik*, Bd. 82, S. 759; *Naturwissenschaften*, 1934, Bd. 22, S. 417—420.
29. *Feates F. S., Ives D. J.* — *J. Chem. Soc.*, 1956, v. 3, p. 2798—2801.
30. *Ергин Ю. В., Кострова Л. И.* — Структурная химия, 1970, т. 11, № 1, с. 8—11.
31. *Дорфман Я. Г.* Беседы о магнетизме. М., Изд-во АН СССР, 1950. 240 с.
32. *Карякин А. В.* и др. — Теоретическая и экспериментальная химия. 1966, т. 2, вып. 4, с. 494—496.
33. *Глембоцкий В. А., Еремин Ю. П.* — Сборник трудов Московского института стали и сплавов, 1974, № 77, с. 34—37.
34. *Хайдаров Г. З., Горбенко И. В.* — Машиностроение и энергетика Казахстана, 1962, № 5, с. 21—23.
35. *Татаринов Б. П., Кирий Е. А.* — Труды Ростовского-на-Дону института инженеров железнодорожного транспорта, 1964, вып. 48, 38 с.
36. *Брунс С. В., Классен В. И., Коньшина А. К.* — Коллоидн. ж., 1966, т. 28, № 1, с. 153—154.
37. Вода и магнитное поле. Ученые записки Рязанского пединститута. Рязань, Книжное издательство, 1974. 103 с.

38. Зеленков В. Е., Упорова А. А., Чернов Ю. К. — Очистка сточных и оборотных вод предприятий цветной металлургии. Труды института «Казмеханобр». М., Металлургия, 1970, № 4.
39. Деревякин Н. А., Кутепов А. М. — Изв. вузов. Хим. и химич. технол., т. 16, № 6, 1976, с. 976—978.
40. Миненко В. И. Магнитная обработка водно-дисперсных систем. Киев, Техника, 1970. 165 с.
41. Классен В. И. и др. — ДАН СССР, 1968, т. 183, № 5, с. 1123.
42. Классен В. И., Орел М. А. и др. — ДАН СССР, 1971, т. 197, № 5, с. 1104—1107.
43. Мирумьянц С. О., Вандюков Е. А., Тухватуллин Р. С. — ЖФХ, 1972, т. 205, № 4, с. 882—883.
44. Карякин А. В., Кривенцова Г. А., Соболева Н. В. — ДАН СССР, 1975, т. 221, № 5, с. 1096—1099.
45. Ерыгин Г. Д., Классен В. И. — ДАН СССР, 1972, т. 205, № 4.
46. Усатенко С. Т., Морозов В. И., Классен В. И. — Коллоидн. ж., 1977, т. 39, № 5, с. 1018—1020.
47. Зеленков В. Е., Чернов Ю. К. — В кн.: Очистка сточных и оборотных вод. М., Металлургия, 1971, № 7, с. 155—158.
48. Кукоз Ф. И., Чернов Г. К., Скалозубов М. Ф. — Пром. энергетика, 1935, № 2, с. 34—35.
49. Акустическая и магнитная обработка веществ. Сборник Новочеркасского политехнического института, 1966, № 9. 138 с.
50. Bordi S., Vannel F., Rapeschi G. — Ann. chim., 1963, v. 53, № 7.
51. Классен В. И. и др. — В кн.: Новые методы повышения эффективности обогащения полезных ископаемых. М., Наука, 1968.
52. Зеленков В. Е., Мусина А. А., Кульсартов В. К. — Труды института «Казмеханобр», 1974, № 13, с. 214—219.
53. Куценко А. Д., Богуславский Л. И. — Электрохимия, 1967, т. 3, вып. 1, с. 123—126.
54. Уманский Д. И. — Журн. теор. физ., 1965, вып. 12, с. 2245.
55. Эльзбутас Г., Саснаускас К. — Науч. труды вузов Литовской ССР. Хим. и химич. технол., 1968, т. 9, с. 125—127.
56. Баталин Б. С. — Сборник научных трудов Пермского политехнического института, 1972, с. 116—125.
57. Миненко В. И., Петров С. М., Миц М. Н. Магнитная обработка воды. Харьков, Книжное издательство, 1962. 39 с.
58. Файзуллаев Д. Ф., Джурабеков С. и др. — ДАН УзССР, 1968, № 8, с. 13—15; 1969, № 8, с. 10—11.
59. Никитин И. К., Марченко А. Г., Тимакович А. М. — В кн.: Гидродинамика больших скоростей. Киев, 1968, вып. 5, с. 148—153.
60. Lielnezs J., Aleman H. — Thermochimica Acta, 1977, v. 21.
61. Духанин В. С. Автореф. канд. дис. М., МГПИ, 1973.
62. Сборник «Живые системы в электромагнитных полях». Томск, Изд-во Томского университета, 1979, вып. 2, 180 с.
63. Patrovsky V. — Mol. Phys., 1976, v. 31, № 4, p. 1051—1053.
64. Jochi K. M., Kamat P. V. — J. Ind. Chem. Soc., 1966, v. XLIII, № 9, p. 620—622.
65. Миненко В. И. — Коллоидн. ж., 1976, т. 38, № 4, с. 821—823.
66. Gabrielli C., Ficalbi A. — Geof. e meteorol., 1965, v. 14, № 5—6.
67. Классен В. И., Орел М. А. и др. — Изв. вузов. Цветная металлургия. Орджоникидзе, 1968, № 1, с. 6—9.

68. *Комаров В. С., Дубницкая И. Б., Величко Н. И.* — Коллоидн. ж., 1978, т. 40, № 3, с. 550—553.
69. *Савченков Э. А.* и др. — Реф. сборник «Коррозия и защита в нефтегазовой промышленности», 1976, № 7, с. 9—12.
70. *Стукалов П. С., Васильев Е. В., Глебов Н. А.* Магнитная обработка воды. Л., Судостроение, 1969. 190 с.
71. *Класен В. И.* и др. — ДАН СССР, 1970, т. 190, № 6, с. 1391.
72. *Великанова Л. Н., Смирнов В. А., Семченко В. Д.* — В кн.: Магнитотвердые материалы. Ростов-на-Дону. Книжное издательство, 1973, с. 150—153.
73. *Кисловский Л. Д.* — ДАН СССР, 1967, т. 175, № 6, с. 1277.
74. В кн.: Кристаллизация и свойства кристаллических веществ. Л., Наука, 1971, 95 с.
75. *Тобеныхин Е. Ф., Гусев Б. Т.* — Электрические станции, 1968, № 8, с. 49—52.
76. *Михельсон М. Л.* — Коллоидн. ж., 1977, т. № 3, с. 577—578.
77. Материалы конференции молодых научных сотрудников. Сборник Института неорганической химии и электрохимии. Тбилиси, АН Груз. ССР, 1976. 167 с.
78. *Тобеныхин Е. Ф.* Безреагентные методы обработки воды в энергоустановках. М., Энергия, 1977. 183 с.
79. *Соколов В. М.* Автореф. канд. дис. Новосибирск, Институт общей и неорганической химии, 1964.
80. *Иовчев В. П.* Автореф. канд. дис. София, Теплотехнич. институт, 1968.
81. *Габашвили Т. Г., Карцивадзе А. И.* — Труды Инст. геофизики АН Груз. ССР, 1967, т. 25, вып. 1, с. 109—112.
82. *Müller G., Marscher H.* — Physikalische Blätter, 1966, Bd. 22, N 8, S. 358—363.
83. *Елисеев Н. И., Кирбитова Н. В., Класен В. И.* — ДАН СССР, 1973, т. 209, № 2, с. 415—417.
84. *Fuss I.* — Bergakademi, 1970, N 10, S. 633—637.
85. *Класен В. И.* и др. — Депонир. рукопись, НИИТЭхим, Черкассы, № 22, 04/78 деп., 1978, с. 1—11.
86. *Рубежанский К. А.* и др. — Реф. сборник «Азотная промышленность», Черкассы, НИИТЭхим, 1978, с. 1—7.
87. *Piccardi G.* The Chemical Basis of Medical Climatology. 1962.
88. *Ксенофонтов Б. С.* и др. — ДАН СССР, 1974, т. 215, вып. 4.
89. *Ксенофонтов Б. С.* и др. — ДАН СССР, 1975, т. 227, № 1.
90. *Заремба В. Г., Михневич Г. Л.* — Коллоидн. ж., 1962, т. 24.
91. *Класен В. И.* — ДАН СССР, 1966, т. 166, № 6, с. 1383—1385.
92. *Плаксин И. Н., Хажинская Г. Н., Стецкая С. А.* — Изв. вузов. Горный журнал, 1967, № 9, с. 149—151.
93. *Класен В. И., Хажинская Г. Н., Стецкая С. А.* — Изв. вузов. Горный журнал, 1968, № 12, с. 128—131.
94. *Васин Ю. Б.* и др. — В кн.: Прогрессивная технология литейного производства. Горький. Книжное издательство, 1969, с. 69—72.
95. *Сагинов А. О., Панов Г. Е., Обухов Ю. Д.* — Вестн. АН Каз. ССР, 1967, № 10 (270), с. 46—48.
96. Материалы II Грузинской республиканской конференции молодых химиков. Тбилиси — Кутаиси, 1978, 280 с.
97. *Класен В. И., Зиновьев Ю. З.* — Коллоидн. ж., 1967, т. 29, № 5, с. 758—759.

98. *Зиновьев Ю. З., Классен В. И., Литовко В. И.* — В кн.: Новые методы повышения эффективности обогащения полезных ископаемых. М., Наука, 1968, с. 44—49.
99. *Климашин Я. Д., Павлович С. А.* — В кн.: Тезисы совещания по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. М., 1966, с. 35—36.
100. *Шахов А. И., Душкин С. С.* — В кн.: Вопросы технологии обработки воды промышленного и питьевого водоснабжения. Киев, «Будівельник», 1969, с. 48—52.
101. *Ушаков О. И.* и др. — В кн.: Вопросы физикоформообразования и фазовых превращений. Тула, Изд. Тульского политехнического института, 1970, с. 128—131.
102. *Шахов А. И., Душкин С. С.* — Изв. вузов. Строительство и архитектура, 1963, № 11-12, с. 214—215.
103. *Классен В. И., Литовко В. И., Зиновьев Ю. З.* — В кн.: Промышленность нерудных и неметаллических полезных материалов. М., ЦНИИТЭстрам, 1966, вып. 9, с. 1—5.
104. *Черняк Л. П.* и др. — Коллоидн. ж., 1973, т. 35, вып. 4.
105. *Заднепровский Р. П.* — Коллоидн. ж., 1973, т. 35, вып. 2.
106. *Кирбитова Н. В.* и др. — Цветные металлы, 1973, № 10.
107. *Calverley R. A., Read A. D.* Inst. Mining and Metallurgy, Trans. London, 1970, section C, v. 70, p. 141—147.
108. *Оџерек Д.* — Rudarsko-metalurški zbornik. Beograd, 1973, № 1—2.
109. *Gabicar I., Einhorn F.* — Arch. Meteorol., Geophys. und Bioklimatologie, 1967, Bd. 15, № 1—2, S. 191—193.
110. *Бантыш Л. А.* — Электронная обработка металлов, 1979, № 3.
111. *Шахов А. И., Душкин С. С.* — В кн.: Коммунальное хозяйство. вып. 1. Киев, Будівельник, 1964, с. 75—77.
112. *Верижская Е. В., Ключников Н. Г.* Сборник работ аспирантов. вып. 2, Краснодар, Краснодарский пединститут, 1969, с. 50—54.
113. *Елисеев Н. И., Нагирняк Ф. И.* — Цветные металлы, 1968, № 5.
114. *Джапаридзе Л. Н., Пруидзе В. П., Чагунава Р. В.* — Сообщения АН Груз. ССР, 1970, т. 58, № 2, с. 345—347; 1970, т. 59, № 1, с. 61—63.
115. *Цитович И. К.* — Изв. вузов Хим. и химич. технол., 1970, т. 13 вып. 9, с. 1290—1293.
116. Влияние магнитных полей на биологические объекты. М., Наука, 1971, 117 с.
117. *Холодов Ю. А.* Магнетизм в биологии. М., Наука, 1970. 96 с.
118. Влияние естественных и слабых искусственных магнитных полей на биологические объекты. Белгород, Книжное издательство, 1973. 173 с.
119. *Классен В. И.* — В кн.: Тезисы Всесоюзного симпозиума «Реакция биологических систем на слабые магнитные поля». М., 1970.
120. *Гринчер К. С.* — В кн.: Состояние и роль воды в биологических объектах. М., Наука, 1967, с. 143—149.
121. Материалы Всесоюзного симпозиума «Влияние искусственных магнитных полей на живые организмы». Баку, Книжное издательство, 1972. 223 с.
122. Тезисы докладов Совещания по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. 20—22 сентября. М., Наука, 1966. 96 с.

123. Мещерская К. А., Бородина Г. П. Материалы 23-й научной сессии Хабаровского мединститута. Хабаровск, Книжное издательство, 1965. 161 с.
124. Музалевская Н. И., Классен В. И. — ДАН СССР, 1976, т. 227, № 2, с. 391—393.
125. Глебов Н. А., Брехман И. П., Дардышов Н. В. — В кн.: Вопросы гематологии, радиобиологии и биологического действия магнитных полей. Томск, Книжное издательство, 1965, с. 39—45.
126. Моргунов И. И. — В кн.: Проблемы клинической патологии. Рязань, Книжное издательство, 1966, с. 105—143.
127. Нётес Ф. — Užitni Lek., 1967, Bd. 13, S. 541—544.
128. Шимкус Э. М. и др. — Труды Крымского медицинского института, 1973, т. 53, с. 67—70.
129. Пилипенко В. А. — В кн.: Актуальные вопросы здравоохранения практической медицины. Киев, Донецкий мединститут, 1970.
130. Гигиеническая оценка магнитных полей (материалы симпозиума 22—23 мая 1972 г.). М., Минздрав РСФСР, 1972. 182 с.
131. Материалы третьего Всесоюзного симпозиума «Влияние магнитных полей на биологические объекты». Калининград, Калининградский госуниверситет, 1975. 240 с.
132. Шахов А. И., Душкин С. С. Гигиена и санитария, 1965, № 9.
133. Агафонова Г. С., Классен В. И., Мартьянов Ю. А. — Цветные металлы, 1970, № 5, с. 47—49.
134. Классен В. И. — РЖ ВИНТИ «Химия», 1975, реф. 14 И359, Депонир. рукопись НИИТЭхим (г. Черкассы), № 472/75-деп.
135. Яковлев Н. П., Колобенков К. И. — Вестн. сельскохозяйственной науки, 1976, № 6, с. 101—106.
136. Волькенштейн М. В. — В кн.: Наука и человечество, М., Знание, 1968, с. 167—177.
137. Карташев А. Г. и др. — Электронная обработка материалов, 1978, № 6, с. 65—68.
138. Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха, т. II, М., Наука, 1975. 207 с.
139. Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу воды. М., Наука, 1971. 256 с.
140. Живые системы в электромагнитных полях. Томск, Изд-во Томского университета, 1978. 196 с.
141. Денисов П. В., Репринцева С. Л. — В кн.: Некоторые вопросы химии и методики ее преподавания. Краснодар, Изд-во Краснодарского пединститута, 1969, с. 68—73.
142. Бучаченко А. Л. Химическая поляризация электронов и ядер. М., Наука, 1974. 215 с.
143. Бучаченко А. Л., Сагдеев Р. З., Салихов К. М. Магнитные и спиновые эффекты в химических реакциях. Новосибирск, Наука, 1978. 183 с.
144. Деревякин Н. Л., Кутепов А. М. — Изв. вузов. Хим. и химич. технол., 1974, т. 17, № 7, с. 998—1000.
145. Давидзон М. И. — Изв. вузов, Физика, 1979, № 4, с. 123—125.
146. Классен В. И., Щербакова С. В. — В кн.: Новые исследования в области обогащения мелких классов углей и руд. М., Наука, 1965, с. 6—7.

- Лшкичев В. И.* — ЖНХ, 1980, т. 25, вып. 2, с. 327—331.
- Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Лекции по физике. М., Мир, 1966. 372 с.
- Lippincott E.* 1969, v. 164, p. 1482.
- Зеленухин В. Д., Зеленухин И. Д.* — Научные труды Казахского сельскохозяйственного института, 1973, т. 16, вып. 4.
51. *Борман В. Д.* и др. Журн. эксперим. и теор. физики, 1967, т. 6, с. 945—946; 1967, т. 53, с. 2143—2144.
152. *Лю Б. Н.* и др. — Биофизика, 1979, № 1, с. 159—161.
153. *Класен В. И., Крылов О. Т., Ларин Л. А.* — Коллоидн. ж., 1980, т. 142, вып. 3, с. 556—557.
154. *Голгер Ю. Я.* и др. — В кн.: Тезисы Всесоюзного семинара по проблеме магнитной обработки воды в процессах обогащения полезных ископаемых. М., Изд-во института горного дела им. А. А. Скочинского, 1968, с. 22.
155. *Гак Е. З.* — Журн. техн. физ., 1970, т. 40, № 8, с. 1760—1767.
156. *Ефремов И. Ф., Лукашенко Г. М., Усъяров О. Г.* — В кн.: Поверхностные силы в тонких пленках и дисперсных системах. М., Наука, 1972, с. 35—40.
157. *Мелихова Н. И., Дудкин С. Ф.* — В кн.: Исследования по электрохимии и коррозии металлов. Тула, Тульский политехнический институт, 1977, с. 91—95.
158. *Бондаренко Н. Ф., Гак Е. З.* — Доклады ВАСХНИЛ, 1979, № 5.
159. *Мартынова О. И., Гусев Б. Т., Леонтьев Е. А.* — Успехи физических наук, 1969, т. 98, вып. 1, с. 195—199.
160. *Тебенихин Е. Ф., Гусев Б. Т.* Обработка воды магнитным полем в теплоэнергетике. М., Энергия, 1970. 143 с.
161. *Мартынова О. И.* и др. — Теплоэнергетика, 1979, № 6, с. 67—79.
162. *Левич В. Г.* — Усп. физ. наук, 1966, № 4, с. 787—788.
163. *Ахмеров У. Ш., Ведерников А. П., Поленов Л. Ф.* Методы индикации «магнитной воды». Казань, Казанский университет, 1972. 73 с.
164. *Улазовский В. А., Ананьина С. А.* Влияние омагниченной воды затворения на процессы кристаллизационного твердения цементного камня. Волгоград. Волгоградский институт инженеров городского хозяйства, 1970. 114 с.
165. *Михановский Д. С., Арадовский Я. Л., Леус Э. Л.* Пластификация бетонной смеси магнитной обработки воды затворения на домостроительных заводах. М., Стройиздат, 1970. 47 с.
166. *Ларин А. В., Трусов С. Б., Азелицкая Р. Д.* Труды Краснодарского политехнического института, 1975, вып. 80, с. 23—26.
167. *Петухов В. Н.* Автореф. канд. дис. Алма-Ата, Казахский политехнический институт, 1974. 24 с.
168. *Шипилов Ю. И.* — Труды Одесского института инженеров морского флота, 1975, вып. 7, с. 67—69.
169. *Круглицкий Н. Н.* и др. Физико-химическая механика дисперсных структур в магнитных полях. Киев, Наукова думка, 1976.
170. *Михайлов А. П., Белова Л. О.* — Республиканский межведомственный научно-технический сборник «Автомобильные дороги и дорожное строительство». Киев, 1979, вып. 25, с. 56—59.
171. *Челнокова В. М.* Автореф. канд. дис. Л., Ленинградский инженерно-строительный институт, 1975.
172. *Расулова Н. М.* Автореф. канд. дис. Баку, Азербайджанский политехнический институт, 1976.

173. Малахов Г. М. и др. — Горный журн., 1971, № 10, с. 21—
174. Материалы семинара-совещания «Применение магнитной ботки воды в энергетике». НТО энергетической промышленности. Новосибирск, Книжное издательство, 1968. 199 с.
175. Лапотышкина Н. П., Шелатуркина И. А. — Экспресс-информация. Сер. Эксплуатация оборудования энергосистем. М., И формэнерго, 1975, № 13, с. 11—13.
176. Каган Я. М. Автореф. канд. дис. М., Институт нефтехимической и газовой промышленности, 1966.
177. Алиев Ш. Н., Агаларов Д. М. — Реф. научно-технический сборник «Нефтепромысловое дело». М., ВНИПОЭТ, 1979, № 7.
178. Дытюк Л. Т., Клейменов В. Ф., Корнилова Н. С. — Нефтяное хозяйство, 1977, № 2, с. 68—72.
179. Бейм М. Я. и др. — В кн.: Вопросы физики твердого тела, № 8, Челябинск, 1977, с. 85—91.
180. Классен В. И., Щербакова С. В. — Горный ж., 1965, № 5.
181. Зубкова Н. Ф., Попов Р. Л. — Научные труды Среднеазиатского института цветной металлургии. СредазНИИпроектцветмет, 1972, № 5, с. 11—18.
182. Бондаренко О. П. — Обогащение руд, 1965, № 3, с. 22—23.
183. Ковачев К., Класуранов Г. — Рудодобив. металлургия, София, 1969, № 4, с. 16—19; 1970, № 2, с. 12—15.
184. Пие Р., Поп J., Szöllosy D. — Revista minelor, 1969, v. 20, N 8.
185. Александров Я. и др. — Бюллетень института НИИпроруда. София, 1968, № 2, с. 21—23; 1968, № 3, с. 41—44.
186. Yonsef A. A. Erzmetall, 1974, Bd. 27, N 5, S. 233—236.
187. Агафонова Г. С. и др. — Цветные металлы, 1969, № 1, с. 16—17.
188. Демин Г. А., Ельников А. А., Койбаши В. А. — В кн.: Обогащение и брикетирование угля, № 9 (72). М., Недра, 1967, с. 31—32.
189. Kopar V. B., Kiri K. A., Sarkar G. G. — Trans. Mining and Met., 1976, v. C85, p. 55—57.
190. Андреев П. И. и др. — В кн.: Физико-химические основы комплексной переработки руд Средней Азии. Душанбе, 1970.
191. Скрылев Л. Д., Тригубенко Т. З. — Коллоид. ж., 1976, № 7.
192. Агафонова Г. С. Автореф. канд. дис. Алма-Ата, Институт «Каз-механобр», 1970.
193. Классен В. И. и др. — Цветные металлы, 1968, № 5, с. 23—24.
194. Агафонова Г. С., Бергер Г. С. — В кн.: Материалы коллоквиума по теории флотации. Алма-Ата, Наука, 1970, с. 140—148.
195. Орел М. А. и др. — Цветные металлы, 1968, № 10, с. 49—50.
196. Никитина В. С. и др. — Кокс и химия, 1972, № 8, с. 7—9.
197. Байрамов А. М. и др. — Изв. вузов. Нефть и газ, 1977, № 12, с. 25—29; 1978, № 2, с. 27—30.
198. Зиновьев Ю. З. и др. — Уголь, 1968, № 3, с. 59—61.
199. Классен В. И. и др. — Кокс и химия, 1972, № 10, с. 7—9.
200. Куценко А. Н. — В кн.: Новые исследования в горной электромеханике. Л., Горный институт, 1971, с. 17—19.
201. Водяницкий Ю. Н., Мосьяков Е. Ф. — Изв. вузов. Геология и разведка, 1970, № 6, с. 104—107.
202. Шахов А. И., Ширяев А. В., Душкин С. С. Изв. вузов. Строительство и архитектура, 1963, № 11—12, с. 214—217.
203. Польшкин С. И., Рафиенко А. И. — Цветные металлы, 1964, № 9, с. 10—12.

204. *Аленькин А. Ф.* и др. — Цветные металлы, 1980, № 9, с. 101.
205. *Сушковский В. Д.* — Средства связи, 1978, № 4, с. 35—38.
206. *Шахов А. И., Душкин С. С.* — Коммунальное хозяйство, 1964, вып. 1, с. 126—129.
207. *Шахов А. И., Душкин С. С.* — Изв. вузов. Хим. и химич. технол., 1972, т. 15, № 2, с. 273—275.
208. *Джанни Джернини, Аник С.* — Откр., изобр., пром. образцы, товарн. знаки, 1980, № 20, с. 340.
209. *Порубаев В. П.* и др. — В кн.: Очистка сточных и оборотных вод. М., Металлургия, 1971, № 2, с. 165—173.
210. *Класен В. И., Соцкий А. Р., Говоров А. В.* — Горный ж., 1968, № 5, с. 21—23.
211. *Лавров Ю. М.* Автореф. канд. дис. Иркутск, Иркутский политехнический институт, 1974.
212. *Якнышева Л. М.* Автореф. канд. дис. Свердловск, Свердловский горный институт, 1970.
213. *Репко В. А., Хатунцев А. С., Минеев Б. А.* Труды Центрального научно-исследовательского и проектно-конструкторского института профилактики пневмоконикозов и техники безопасности, 1971, № 4, с. 63—67.
214. *Федькин В. Н.* — В кн.: Повышение эффективности добычи и обогащения комплексных руд. Апатиты, 1977, с. 63—68.
215. *Черняк Л. П.* и др. — В кн.: Научные основы технологии и развития производства стеновой строительной керамики. Киев, Наукова думка, 1972, с. 42—48.
216. *Черняк Л. П.* — Коллонд. ж., 1973, т. 35, вып. 5, с. 1003.
217. *Мартышина Г. Н., Краев В. М.* Керамическая промышленность. Реф. информация, Минстройматериалы СССР, 1974, вып. 2.
218. *Севриков А. В.* Автореф. канд. дис. Днепропетровск, Днепропетровский металлургический институт, 1976.
219. *Чумакова А.* и др. — В кн.: Прогрессивные методы и процессы в литейном производстве. Саратов. Нижне-Волжский ЦБТИ, 1970, с. 23—25.
220. *Кочкина Т.* и др. — В кн.: Прогрессивные методы и процессы в литейном производстве. Саратов, Нижне-Волжский ЦБТИ, 1970, с. 22—23.
221. *Жуков И. В., Бутко Ю. Г.* — Бумажная пром., 1974, № 10.
222. *Жуков И. В., Бутко Ю. Г.* — Бумажная пром., 1976, № 2.
223. *Подчерняев И. Я., Филиппов В. Е.* — Целлюлоза, бумага, картон, 1975, № 33, с. 18—19.
224. *Подчерняев И. Я., Банеле Н. З.* — Целлюлоза, бумага, картон, 1975, № 33, с. 17—19.
225. *Мелентьев П. Н.* и др. — В кн.: Химико-термическая обработка железных руд. М., Наука, 1969, с. 70—77.
226. *Класен В. И.* и др. — Сборник трудов института «Механобрчермет». М., Металлургия, 1971, вып. 14, с. 88—92.
227. *Поляков В. К., Никоноров П. В., Епифанов В. С.* — Текстильная пром., 1966, № 8, с. 77—78.
228. *Молчан А. Г.* Автореф. канд. дис. Новочеркасск, Новочеркасский политехнический институт, 1967.
229. *Худобин Л. В., Глузман А. Л., Гурьянихин В. Ф.* — Синтетические алмазы, 1972, № 3, с. 47—49

230. *Матусевич В. А., Громова Н. С., Спектор А. Г.* — Труды Всес. научно-исследовательского института подшипниковой промышленности, 1977, № 3 (93), с. 16—25; *Матусевич В. А.* — То же, 1979, № 2 (100), с. 49—55.
231. *Замятина И. Е.* Автореф. канд. дис. Калинин, Калининский политехнический институт, 1972.
232. *Федькушов Ю. И.* Автореф. канд. дис. М., Инженерно-строительный институт, 1978.
233. *Сидорова Е. А., Дандамаев Г. Ш.* — В кн.: Материалы республиканской конференции молодых ученых по вопросам пищевой промышленности. Тбилиси, 1980, с. 69—70.
234. В кн.: Материалы 3-го всесоюзного симпозиума «Влияние магнитных полей на биологические объекты». Калининград, 1975.
235. *Дардымов И. В., Брехман И. И., Крылов А. В.* — В кн.: Вопросы гематологии, радиобиологии и биологического действия магнитных полей. Томск, Томский университет, 1965, с. 325—328.
236. *Лисин В. В., Молчанова Л. Г.* — В кн.: Материалы XI научно-итоговой конференции Семипалатинского медицинского института. Семипалатинск, Книжное издательство, 1967, с. 37—38.
237. *Волконский Н. А.* — Гидротехника и мелиорация, 1973, № 9.
238. *Яковлев Н. П., Колобенков К. И., Поляков Н. И.* — Степные просторы, 1977, № 10, с. 38—39.
239. *Марков М.* Автореф. дис. София, Высш. энергетический институт, 1976.
240. *Ergun Ar.*, Bogazici Universitesi Dergisi, Mühendislik — Engineering, 1974, v. 2, p. 34.
241. *Лебедик А. И., Золотарева Т. А.* — Сахарная свекла, 1968, № 5.
242. *Золотарева Т. А.* Автореф. канд. дис. Воронеж, Сельскохозяйственный институт, 1971.
243. *Гусенков Е. Н., Кочетков С. Г.* — Гидротехника и мелиорация, 1971, № 1, с. 62—65.
244. *Рохинсон Э. Х.* Автореф. канд. дис. Л., Агрофизический институт, 1975.
245. *Криштофорова Б. В.* — В кн.: Применение магнитных полей в медицине, биологии и сельском хозяйстве. Саратов, Саратовский университет, 1978, с. 179—180.
246. *Клягин Б. Д.* Изв. Иркутского сельскохозяйственного института, 1970, вып. 26, т. 3, с. 232—234.
247. *Дюрвилль Г.* Лечение болезней магнитами. Пер. с франц. Киев, 1913, 72 с.
248. *Лисин В. В., Иванова Е. Н.* — В кн.: Применение магнитных полей в клинике. Куйбышев, Куйбышевский мединститут, 1976.
249. *Михельман А. И.* и др. Нефтяная и газовая пром., 1978, № 4.
250. Магнитная обработка водных систем. Тезисы докладов IV всесоюзного совещания. М., НИИТЭХИМ, 1981, 166 с.

ВИЛЛИ ИВАНОВИЧ КЛАССЕН

ОМАГНИЧИВАНИЕ ВОДНЫХ СИСТЕМ