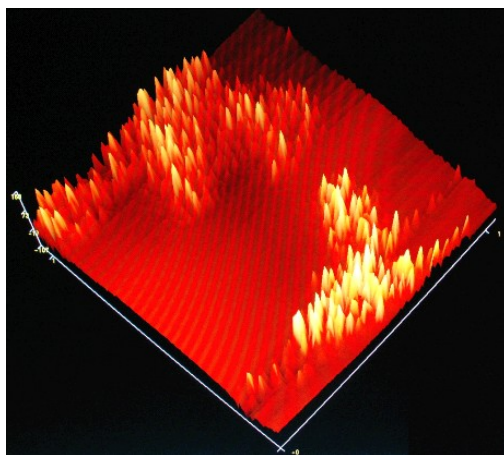


**Научно-образовательный центр Радиационных и нанотехнологий  
Ульяновского государственного университета**

**МОУ «Лицей физики, математики, информатики №40»  
при Ульяновском государственном университете**

**Экспериментальная творческая группа «Солярис»**



## **НАНОСТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТИ КРИСТАЛЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ РАСТВОРОВ, ПОДВЕРГШИХСЯ РАЗЛИЧНЫМ ФИЗИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ**

**СЕКЦИЯ:** физика

**АВТОРЫ:**

**АЙДАРОВ ВЛАДИСЛАВ МИХАЙЛОВИЧ**, 7«В» класс,  
**МАКОГОНЮК ГРИГОРИЙ ДМИТРИЕВИЧ**, 7«А» класс,  
**СЕДОВ АЛЕКСАНДР ДМИТРИЕВИЧ**, 8«В» класс.

**Руководитель:**

**ИВАНОВ ИЛЬЯ ПЕТРОВИЧ**,  
руководитель ЭТГ «Солярис»,  
педагог дополнительного образования высшей  
категории лицея ФМИ №40 при УлГУ.

Ульяновск, 2009

## ОГЛАВЛЕНИЕ

№	Название	Страница
	АННОТАЦИЯ	2
1.	ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ	3
2.	ГИПОТЕЗЫ О МЕХАНИЗМЕ ОМАГНИЧИВАНИЯ ВОДЫ	3
3.	ИДЕЯ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ	4
4.	ДВА ТИПА НАНОСТРУКТУР НА ПОВЕРХНОСТИ КРИСТАЛЛОВ	6
5	РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ ТРАКТОВКА В СВЕТЕ РАССМАТРИВАЕМЫХ ГИПОТЕЗ	6
6.	EXPERIMENTUM CRUCIS И ЕГО РЕЗУЛЬТАТЫ	8
7.	ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ГЛЮКОЗОЙ	9
8.	ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ	10
	ЛИТЕРАТУРА	10

### АННОТАЦИЯ

Исследованы нано- и микроструктура поверхностей кристаллов NaCl и глюкозы, полученных из растворов, подвергшихся физическим воздействиям, которые не меняли химический состав растворов, но могли изменить их кластерную структуру: омагничивание, кипячение, замораживание-размораживание. Исследования проводились на сканирующих зондовых микроскопах NanoEducator. Полученные результаты сопоставлены с собственными же данными о биологической активности воды, подвергшейся аналогичным воздействиям и найдена корреляция между результатами этих экспериментов.

Было обнаружено 2 типа наноструктур на поверхности кристаллов: широкие и низкие (ширина > 200 нм.) и узкие и высокие (ширина: 100-200 нм.). Структуры 1-го типа чаще обнаруживались после динамического омагничивания и/или кипячения раствора и семена в соответствующей воде прорастали лучше. Структуры 2-го типа обнаруживались в контрольных образцах, а также после замораживания-размораживания или статического омагничивания раствора. Семена в соответствующей воде прорастали хуже. Замораживание-размораживание динамически омагниченного раствора восстанавливало появление в нём структур 2-го типа, т.е., снимало эффект динамического омагничивания.

Проведённые исследования дают некоторые аргументы в пользу существования в воде и слабых растворах неких динамических структур размером >200 нм., возникающих при динамическом омагничивании (и отчасти, при кипячении) жидкости. Эти структуры разрушаются при замораживании-размораживании жидкости.

## 1. ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

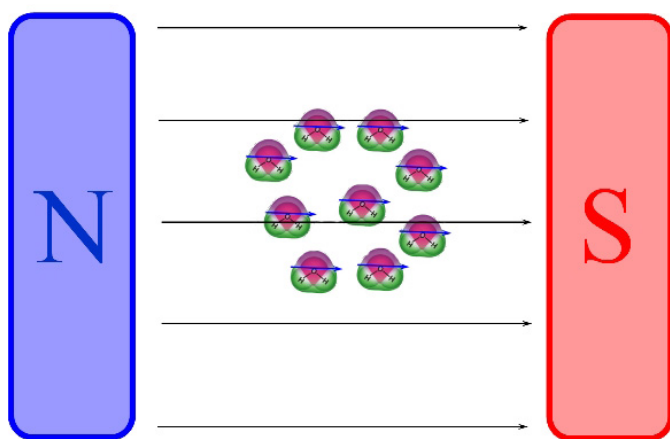
В последние годы высказываются гипотезы о том, что различные физические воздействия на воду могут вызывать изменения в структуре системы её водородных связей, в структуре кластеров, которые сохраняются достаточно долго - минуты и часы, т.е. значительно дольше, чем характерное время существования водородной связи -  $10^{-16}$  с. (см. [1], [2]). Однако, непонятен механизм столь длительного сохранения этих изменений. Тем не менее, факты наличия этого явления имеют место. В частности, периодически появляются сообщения об устойчивых изменениях свойств воды после её **омагничивания** [3].

Данная работа посвящена исследованию вопроса, действительно ли вода и слабые растворы NaCl и глюкозы могут изменять свои свойства на длительное время после различных физических воздействий, которые не меняют их химический состав, но могут изменять их кластерную структуру. В качестве физических воздействий были взяты: омагничивание, кипячение, замораживание-размораживание. В качестве индикатора состояния раствора был использован процесс кристаллизации растворённого вещества с последующим исследованием поверхности получаемых кристаллов с помощью атомно-силового микроскопа.

## 2. ГИПОТЕЗЫ О МЕХАНИЗМЕ ОМАГНИЧИВАНИЯ ВОДЫ

Авторами рассматривались две возможные гипотезы относительно механизма воздействия магнитного поля на воду и слабые водные растворы, которые можно условно назвать **магнитостатической** и **магнитодинамической**. Обе они утверждают, что под действием магнитного поля в воде (растворе) образуются некие малоразмерные, долгоживущие структуры, конгломераты. Природу же этих образований гипотезы объясняют по-разному.

1) **Магнитостатическая гипотеза** заключается в том, что магнитное поле ориентирует

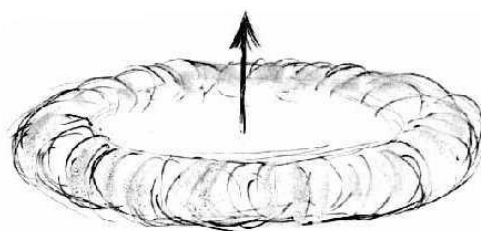


**Рис.1.** Образование магнитных доменов из молекул воды

атомы кислорода, входящие в состав воды, вдоль своих линий по причине довольно высокой магнитной восприимчивости кислорода. При попадании в магнитное поле магнитные моменты атомов кислорода входящих в молекулы воды, выстраиваются вдоль линий поля, начинают прецессировать и группируются под действием магнитных сил. Это вызывает своеобразное «слипание» молекул воды в достаточно крупные образования (рис.1), которые по аналогии с ферромагнетиками, можно назвать **доменами** [4]. Размер доменов в ферромагнетиках имеет порядок 1-100 мкм. Естественно, домены в воде (растворе), в отличие от ферромагнетиков, могут иметь меньший размер и не заполнять весь объём, а находиться в жидкости в виде отдельных включений.

2) **Магнитодинамическая гипотеза** заключается в том, что при движении потока воды или раствора сквозь магнитное поле на (гидратированные) ионы растворённых в воде веществ действуют

силы Лоренца, а также силы, ориентирующие магнитные моменты молекул вдоль меняющихся линий индукции магнитного поля. В результате в движущейся воде (растворе) могут образовываться **устойчивые микровихри** (рис.2) - как плоские, так и тороидальные (при замыкании вихревых трубок). Идея о долгоживущих тороидальных водных микровихрях (**аквацитах**) была высказана в [5]. Следует отметить, что



**Рис.2.** Тороидальные микровихри в воде

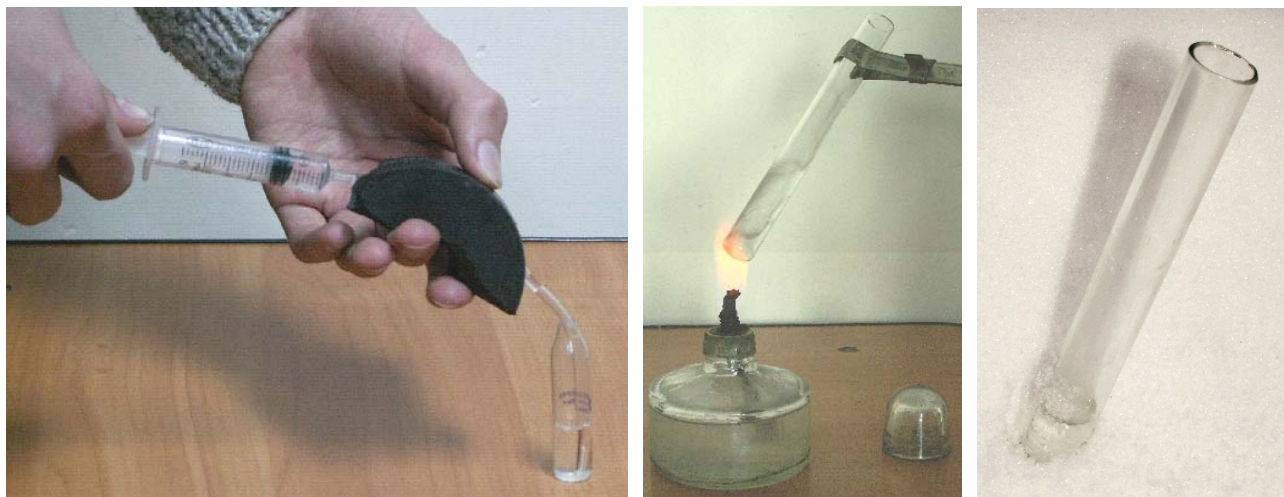
микровихри могут образовываться также и при **кипячении** воды и растворов вследствие конвекции. У данной гипотезы есть слабое место, заключающееся в том, что непонятно, почему микровихрь достаточно долго не теряет свою кинетическую энергию вследствие трения об окружающую воду. Ведь не является же вода на его границе сверхтекучей?

### 3.ИДЕЯ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Основная идея данного исследования заключалась в том, что **устойчивые микро-структуры воды, если они существуют, могут влиять на процесс образования кристаллов из раствора** (в частности, они могут быть **центрами кристаллизации**), а значит, и на **микро- и наноструктуру получаемых поверхностей кристаллов..** Поэтому, было бы интересно исследовать особенности нано- и микроструктуры поверхности кристаллов, образовавшихся из растворов, подвергшихся омагничиванию и прочим физическим воздействиям, которые не влияют на их химический состав, но могут приводить к образованию в жидкости неких устойчивых микроструктур.

Для экспериментов использовались **изотонические растворы NaCl** (концентрации 0,9%) и **глюкозы** (концентрации 5%) из ампул заводского производства. **Изотоническими** данные растворы называются потому, что их осмотическое давление равно осмотическому давлению крови и тканевых жидкостей человека. Таким образом, с одной стороны, концентрация растворённого в воде вещества не столь велика, чтобы оказать существенное влияние на свойства воды. А, с другой стороны, есть надежда, что изучение физических воздействий на такой раствор сможет продвинуть нас в понимании механизмов воздействия, к примеру, магнитного поля на биологические жидкости организма (кровь и др.).

Авторы воздействовали на растворы следующими факторами и их комбинациями: **омагничивание** (путём 5-кратного пропускания с помощью шприца раствора из ампулы в шприц и обратно раствора через пластиковую трубочку, зажатую между двумя магнитами от динамика), **кипячение** и **замораживание-размораживание** (рис.3).



**Рис.3.** Физические воздействия на растворы: омагничивание, кипячение и замораживание-размораживание

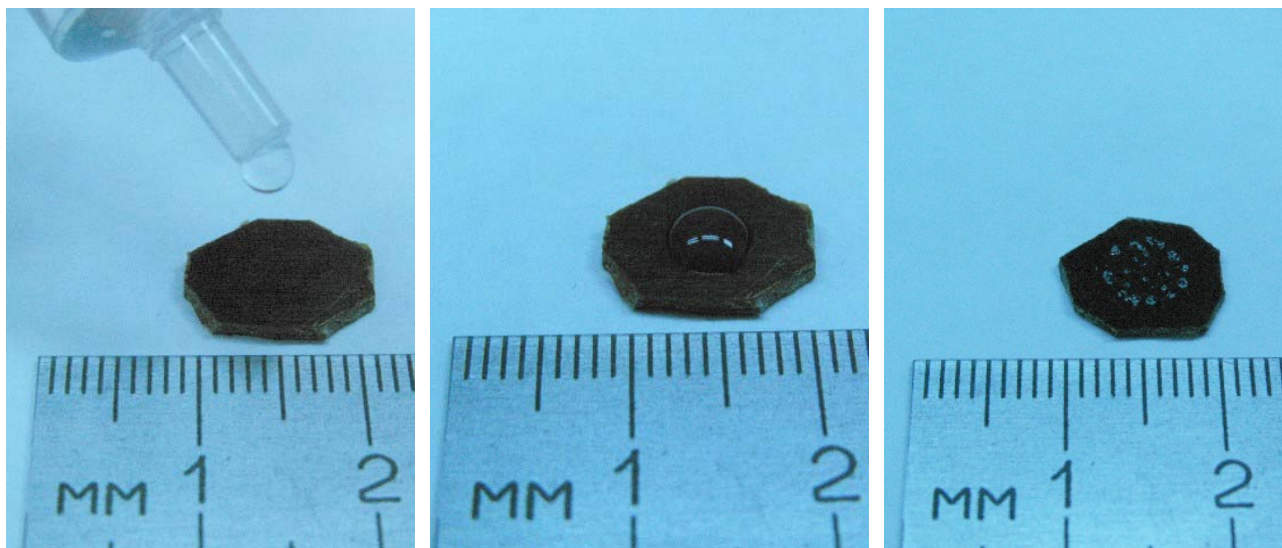
О возможном механизме воздействия на воду магнитным полем были ранее высказаны две гипотезы. Рассмотрим возможные механизмы двух других видов воздействий.

При **кипячении** воды или раствора может происходить разрыв водородных связей, и разрушение кластеров вследствие теплового движения молекул, и перемешивания жидкости.

При **замораживании** жидкости молекулы выстраиваются в особую гексагональную структуру кристаллов льда, что может разрушать водородные связи и кластеры, присутствующие в жидком состоянии.

После воздействия капелька раствора наносилась на предварительно тщательно промытую спиртом и дистиллированной водой диэлектрическую (гетинаксовую) подложку размером 8-10 мм. и высушивалась. Образовывались мелкие кристаллики (рис.4).





**Рис.4.** Последовательность работы с капелькой раствора: нанесение на гетинаксовую подложку, высушивание, образование кристалликов

Сушка проводилась как быстро (с помощью обдува термовентилятором), так и медленно (при комнатной температуре). Быстрая сушка имеет тот недостаток, что происходит нагрев капельки раствора, что может повлиять на структуру кластеров в нём. Поэтому, авторы пользовались им только в самом начале исследований. Все манипуляции с растворами проводились с помощью стерильных (одноразовых и каждый раз - новых) шприцов объёмом 5 мл. и пластиковых трубочек. При этом отсутствовал контакт растворов с металлами (например, с иглой шприца, которая предварительно снималась и не использовалась при манипуляциях).



**Рис.5.** Сканирующие зондовые микроскопы NanoEducator

Для сканирования поверхностей полученных кристалликов использовались **сканирующие зондовые микроскопы NanoEducator** научно-образовательного центра Радиационных и нанотехнологий Ульяновского государственного университета (рис.5). Подложки с кристалликами помещались на предметный столик микроскопа и производилось сканирование участков их поверхностей размером 10000 x 10000 нм. — для исследования **микроструктуры** поверхности, а затем сканировались различные участки размером 1000 x 1000 нм. внутри данной области, что позволяло рассмотреть **наноструктуру** этих участков поверхности. Использовались хорошо заточенные зонды. Добротность системы «зонд-пьезотрубка» устанавливалась в пределах от 40 до 110.

Поскольку далее результаты данных экспериментов сопоставляются с ранее полученными в «Солярисе» результатами по прорастанию семян [6, с.12-13], коротко опишем методику экспериментов с семенами. В них вода подвергалась тем же воздействиям, что и растворы в данном исследовании. Затем в пластиковые стаканчики помещались по 10 примерно одинаковых семян озимой пшеницы и заливались 2 мл. воды, подвергшейся указанным воздействиям (рис.6). После этого стаканчики закрывались, и семена прорастали 1-2 недели в одинаковых условиях. Кроме того, имелись контрольные семена, прораставшие в воде, не подвергшейся воздействию. После проращивания измерялась длина ростков всех 10 семян в каждом стаканчике с точностью  $\pm 1$  мм. и вычислялась средняя длина по каждому стаканчику.

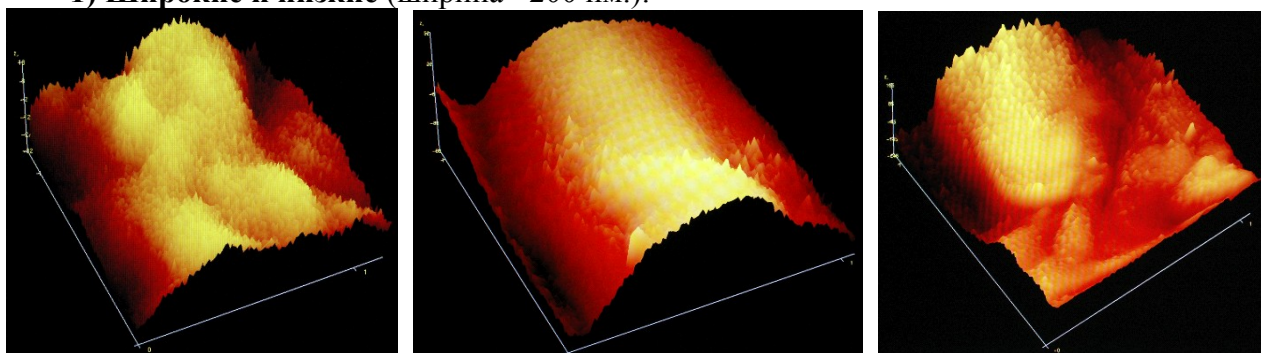


**Рис.6.** Методика экспериментов с семенами пшеницы: отбор примерно одинаковых семян, проращивание в закрытых стаканчиках с водой, измерение длин ростков

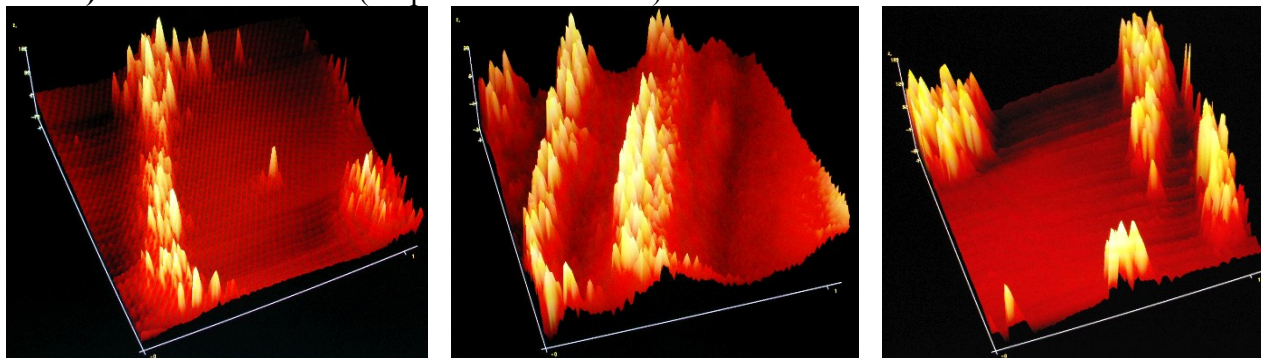
#### 4. ДВА ТИПА НАНОСТРУКТУР НА ПОВЕРХНОСТИ КРИСТАЛЛОВ

На сканах размером 1000 x 1000 нм. авторами обнаружены **2 типа наноструктур на поверхности кристаллов NaCl**:

##### 1) Широкие и низкие (ширина >200 нм.):



##### 2) Узкие и высокие (ширина: 100-200 нм.):



Структуры 2-го типа обнаруживаются, в основном, на вершинах «гор», определённых при первом сканировании участков 10000 x 10000 нм. Для их обнаружения требуется добротность системы «зонд-пьезотрубка» сканирующего зондового микроскопа не менее 60. Интересно, что обнаруживаются структуры 2-го типа не всегда, а лишь в определённых случаях, о которых будет сказано в следующем пункте.

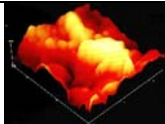
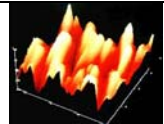
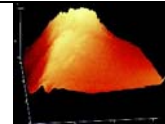
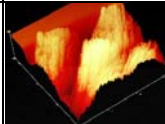
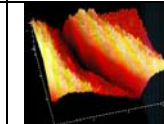
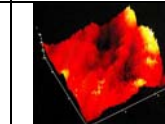
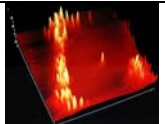
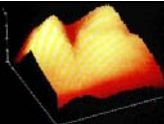
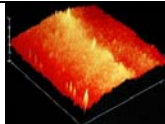
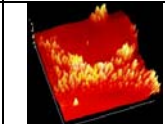
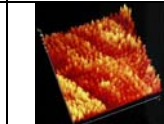
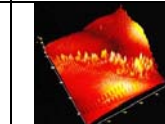
#### 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ ТРАКТОВКА В СВЕТЕ РАССМАТРИВАЕМЫХ ГИПОТЕЗ

Обобщённые результаты экспериментов с растворами NaCl можно видеть в нижеследующей таблице 1. В её клетки вставлены характерные сканы поверхностей кристаллов NaCl из растворов, подвергшихся тем или иным воздействиям и ранее полученные в «Солярисе» данные о проращении семян пшеницы в воде, подвергшейся аналогичным воздействиям.

На уровне **микроструктуры** (сканы размером 10000 x 10000 нм. и детали размером >1000 нм.) можно заметить, что:



**Таблица 1. Микро- и наноструктура поверхностей кристаллов NaCl в сопоставлении с данными о прорастании семян пшеницы.** Размеры сканов: в клетках «микроструктура» – 10000 x 10000 нм., в клетках «наноструктура» - 1000 x 1000 нм.

	Раствор без воздействия (контрольный)	Омагниченный раствор	Кипячённый раствор	Замороженный -> размороженный раствор	Омагниченный -> замороженный -> размороженный раствор	Омагниченный -> кипячённый раствор
<b>Микроструктура поверхности кристаллов NaCl</b>		 «Причудливость» структуры	 Крупные, монолитные структуры			
<b>Наноструктура поверхности кристаллов NaCl</b>	 Наличие образований 100-200 нм.	 Отсутствие образований 100-200 нм.	 Редкое присутствие образований 100-200 нм.	 Наличие образований 100-200 нм.	 Наличие образований 100-200 нм.	 Редкое присутствие образований 100-200 нм.
<b>Прорастание семян</b>	Контрольное	Лучше контрольного	Лучше контрольного	Хуже контрольного	В разных экспериментах – хуже или лучше контрольного	В разных экспериментах – хуже или лучше контрольного

1) микроструктура поверхности кристаллов после омагничивания и без последующего кипячения или замораживания выглядит более «причудливой» (т.е., содержащей много небольших, порядка 2000-3000 нм. элементов);

2) кипячение даёт крупные, монолитные поверхностные микроструктуры.

Более интересны результаты по **наноструктуре** поверхности кристаллов. Из таблицы 1 видно, что **при тех воздействиях на воду/раствор, после которых на кристаллах часто присутствуют узкие образования шириной 100-200 нм. (без воздействия и после замораживания-размораживания) семена прорастают хуже, чем там, где узкие образования встречаются редко, а чаще присутствуют широкие образования шириной >200 нм. (в основном это наблюдается при омагничивании и отчасти – при кипячении).** Замораживание-размораживание омагниченного раствора восстанавливает появление в нём узких образований, т.е., как бы снимает эффект омагничивания. И в воде, подвергшейся заморозке-разморозке семена также прорастают хуже.

Таким образом, результаты двух различных экспериментов (исследование наноструктуры поверхности кристаллов и прорастание семян) в большой степени коррелируют между собой.

Как же можно трактовать эти результаты в свете описанных в п.2 двух гипотез? Можно предположить, что омагничивание и, отчасти, кипячение, порождают в воде и слабых растворах образования размером  $>200$  нм. Замораживание же, выстраивая молекулы воды в кристаллическую структуру льда, разрушает эти образования, независимо от их природы – доменной или вихревой.

#### 1) Магнитостатическая гипотеза.

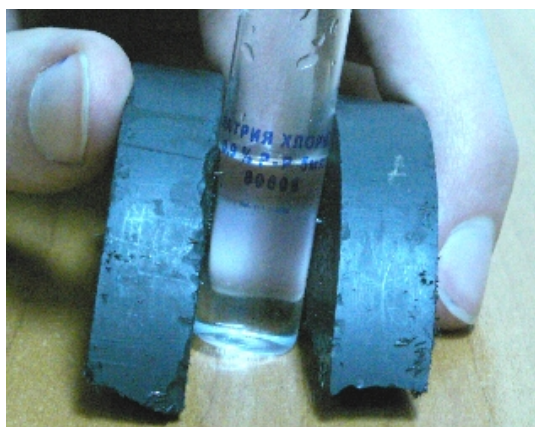
Магнитные домены, в случае их существования в воде (растворе) и размеров  $>200$  нм., могут препятствовать образованию узких структур при кристаллизации раствора. С другой стороны, их наличие каким-то образом повышает скорость прорастания семян пшеницы.

#### 2) Магнитодинамическая гипотеза.

Перемешивая воду, микровихри-аквациты размерами  $>200$  нм. могут препятствовать образованию узких и высоких структур на поверхности кристаллов вследствие некой «хаотизации» раствора. По-видимому, для образования этих структур требуется определённое спокойствие раствора. С другой стороны, микровихри могут усиливать циркуляцию веществ около семечка и, тем самым, ускорять его прорастание.

### 6.EXPERIMENTUM CRUCIS И ЕГО РЕЗУЛЬТАТЫ

Таким образом, результаты исследований дают некоторые аргументы в пользу существования в омагниченной воде структур размером  $> 200$  нм., однако не позволяют сделать выбор в пользу магнитостатической или магнитодинамической гипотез. Для выбора наиболее

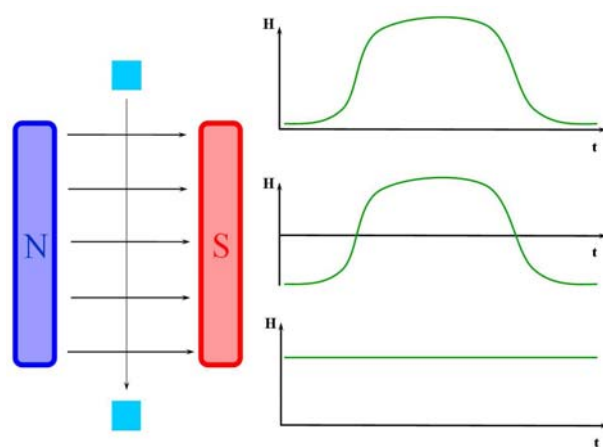


**Рис.7.** Статическое омагничивание раствора

правдоподобной гипотезы из двух нужен некий решающий эксперимент, **experimentum crucis**, результаты которого могут быть объяснены лишь одной из гипотез. Таким экспериментом может быть **омагничивание неподвижного раствора статическим магнитным полем**, которое можно назвать **статическим омагничиванием** в отличие от используемого ранее и описанного выше **динамического омагничивания**. Для статического омагничивания неподвижная ампула с раствором помещалась на несколько минут в поле тех же магнитов, которые использовались при динамическом омагничивании (рис.7). В случае проявления различия в микро- и наноструктуре кристаллов при статическом и динамическом омагничивании, это могло бы дать аргументы в пользу одной из двух рассматриваемых гипотез.

Отсутствия же различий при статическом и динамическом омагничивании могло бы свидетельствовать в пользу магнитостатической гипотезы, поскольку и при динамическом омагничивании присутствует статический компонент. Это можно увидеть из рисунка 8. При динамическом омагничивании каждая капелька воды,двигающаяся по трубочке (рис.8, слева), испытывает (в сопутствующей системе отсчёта) действие то возрастающего магнитного поля (когда она приближается к магниту), то убывающего (когда удаляется). График изменения магнитного поля в сопутствующей системе отсчёта показан на рис.8 справа вверху.

Видно, что это изменение можно представить в виде суммы двух нижних графиков, выражающих знакопеременную (в середине) и статическую компоненту поля (внизу).

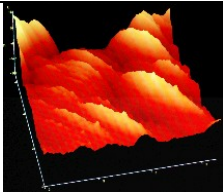
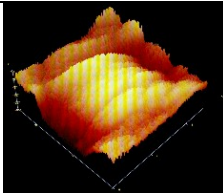
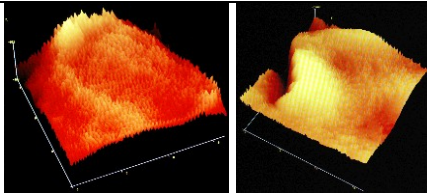
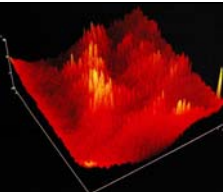
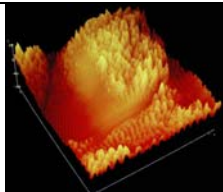
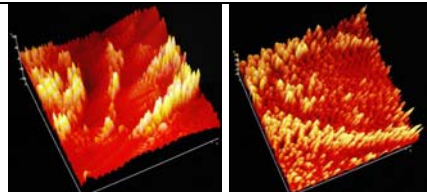


**Рис.8.** Изменение магнитного поля при динамическом омагничивании раствора



Авторами были проведены эксперименты по исследованию микро- и наноструктуры поверхности кристаллов NaCl после статического и динамического омагничивания раствора, а также - по проращению семян пшеницы в статически и динамически омагниченной воде. Их результаты отражены в таблице 2.

**Таблица 2. Результаты экспериментов по статическому и динамическому омагничиванию.** Размеры сканов: в клетках «микроструктура» – 10000 x 10000 нм, в клетках «наноструктура» - 1000 x 1000 нм.

	Контрольный	Динамически омагниченный	Статически омагниченный
Микроструктура поверхности кристаллов NaCl			
Нано-структура поверхности кристаллов NaCl	 Наличие образований 100-200 нм.	 Отсутствие образований 100-200 нм.	 Наличие образований 100-200 нм.
Проращение семян	Контрольное	Лучше контрольного	Хуже контрольного

Видно, что **микроструктура** поверхности кристаллов NaCl имеет заметные различия в случаях статического и динамического омагничивания: в случае статического омагничивания, микрорельеф достаточно ровный с отдельными вершинами или впадинами – в отличие от контрольного и динамически омагниченного.

На уровне **наноструктуры** поверхности видно, что статическое омагничивание, в отличие от динамического, не вызывает подавления узких структур и появления широких, **что свидетельствует в пользу магнитодинамической гипотезы**. Весьма интересно, что так же, как и в таблице 1, имеет место корреляция с результатами экспериментов по проращиванию семян. А именно, **те воздействия на воду (растворы), которые вызывают появление узких структур (замораживание-размораживание, статическое омагничивание), ухудшают проращение семян. А те, которые вызывают появление широких структур (динамическое омагничивание, кипячение), улучшают их проращение.**

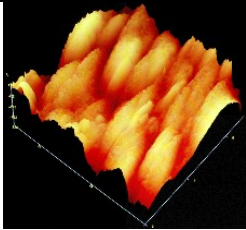
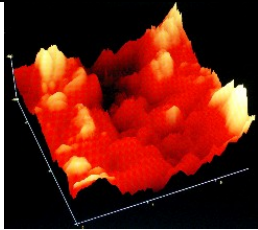
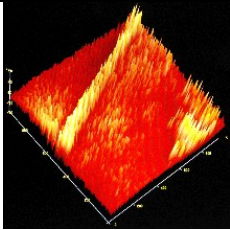
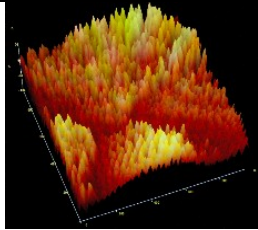
Возможно, что статическое магнитное поле, ориентируя молекулы воды, вызывает разрушение микровихревых образований, а значит, способствует появлению узких структур и ухудшает проращение семян.

## 7.ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ГЛЮКОЗОЙ

Авторами также были начаты эксперименты с 5%-ми растворами глюкозы. Их предварительные результаты показаны в таблице 3.

Видно, что имеет место тот же результат, что и в случае растворов NaCl (наличие узких и высоких образований шириной 100-200 нм. при отсутствии воздействия и широких - при динамическом омагничивании). Это может свидетельствовать о том, что воздействию магнитного поля подвергались именно молекулы воды, а не растворённого вещества. Также имеет место схожесть микроструктуры («причудливость») кристаллов глюкозы без воздействия и микроструктуры кристаллов из омагниченного раствора NaCl (см. таблицу 1).

**Таблица 3. Микро- и наноструктура кристаллов глюкозы в сопоставлении с данными о проращении семян пшеницы.**

	Раствор без воздействия (контрольный)	Динамически омагниченный раствор
<b>Микроструктура поверхности кристаллов глюкозы</b> (размеры сканов: 10000 x 10000 нм.)	 «причудливость»	
<b>Наноструктура поверхности кристаллов глюкозы</b> (размеры сканов: 1000 x 1000 нм.)	 наличие образований 100-200 нм.	 отсутствие образований 100-200 нм.
<b>Проращение семян</b>	Контрольное	Лучше контрольного

## 8.ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Таким образом, проведённые исследования дают некоторые аргументы в пользу существования в воде и слабых растворах неких динамических структур размером  $>200$  нм., возникающих при их динамическом омагничивании (и отчасти, при кипячении). Эти структуры разрушаются при замораживании-размораживании жидкости.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зенин С.В. Вода - хранитель и транслятор информации // <http://ch-fu-yourself.narod.ru/07-01-01.html>, <http://www.veinik.ru/science/anomal/article/428.html>
2. Исследования С.В. Зенина и память воды // [http://www.o8ode.ru/article/memory/iccledovania\\_cv\\_zenina\\_i\\_pamat\\_vody.htm](http://www.o8ode.ru/article/memory/iccledovania_cv_zenina_i_pamat_vody.htm)
3. Очков В.Ф. Магнитная обработка воды: история и современное состояние // Энергосбережение и водоподготовка, № 2, 2006 г., [http://twi.mpei.ac.ru/ochkov/MO/art\\_EV/index.html](http://twi.mpei.ac.ru/ochkov/MO/art_EV/index.html)
4. Бучельников В.Д. Физика магнитных доменов // Соросовский образовательный журнал, №12, 1997 г.
5. Полуян П.В. Макротурбулентные структуры в крупномасштабных потоках жидкости и гипотеза аквацитов // <http://314159.ru/poluyan/poluyan4.htm>, <http://articles.excelion.ru/science/fizika/57538366.html>
6. Айдаров В.М., Басманов Д.А., Иванов И.П. Исследование воздействия различных физических факторов на биологическую активность воды // Актуальные проблемы физической и функциональной электроники. Материалы 11-й региональной научной школы-семинара, г.Ульяновск, 3-5 декабря 2008 г.
7. Сканирующий зондовый микроскоп NanoEducator. Руководство пользователя. «НТ-МДТ», 2006.
8. Сканирующая зондовая микроскопия, спектроскопия и литография. Учебное пособие (для программного обеспечения под Mac OS X). Руководство пользователя. «НТ-МДТ», 10 апреля 2008 г.
9. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. Москва, Техносфера, 2005. – 144 с.