

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2019

Иксанова Т.И., Каменецкая Д.Б., Стехин А.А., Яковлева Г.В., Кочеткова М.Г.

**ВЛИЯНИЕ НЕЛОКАЛЬНОЙ АКТИВАЦИИ И ПАРА-СОСТОЯНИЙ ФАЗЫ АССОЦИИРОВАННОЙ ВОДЫ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ ГИДРОБИОНТОВ *DAPHNIA MAGNA***

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 119121, Москва

**Введение.** Работа посвящена изучению влияния магнитного состояния фазы ассоциированной воды, представленной аморфными льдами с изменённым соотношением изомеров в сторону увеличения доли пара-воды, и нелокальной активации воды на основе технологии нелокального квантового сопряжения воды с производственным активирующим процессом, на показатели жизнеспособности гидробионтов *Daphnia magna*.

**Материал и методы.** Исследования осуществлялись с использованием нелокально активируемой питьевой воды «Si» и концентрата пара-воды, приготовленного в гипомангнетных условиях при остаточной плотности магнитного потока не более 20 нТл по технологии производителя. Концентрат пара-воды вносился в среду развития гидробионтов в соотношении 9 мл на 1 л исследуемой воды.

Для получения потомства использовались особи, выводимые на отстоянной водопроводной воде (1-е поколение), и особи, выведенные на воде «Si», – 2-е поколение. Однодневные особи *Daphnia magna* помещались в количестве 20 шт./л исследуемой воды и весь жизненный цикл содержались в оптимальных условиях: климатостат Р-2 (температура –  $20 \pm 1$  °С, освещённость – 1200–2500 люкс, фотопериод – 12/12 час). Кормление дафний осуществлялось микроводорослью *Chlorella*, выращенной на среде «Тамийя»-50% с плотностью  $D = 0,65-0,72$ .

**Результаты.** Продолжительность жизни гидробионтов *Daphnia magna* в нелокально активируемой среде жизнеспособности (воде «Si») увеличивается в среднем на 38 сут в первом поколении и на 50 сут – во втором поколении, а в среде с потенцирующей добавкой пара-ассоциатов воды на 58 сут (первое поколение) и 41 сут (второе поколение). Показатели продолжительности жизни гидробионтов находятся в отрицательной корреляционной зависимости с изменениями значений окислительно-восстановительного потенциала (Eh) среды развития гидробионтов –  $k_{корр.} = -0,993$  (1-е поколение). Нелокальная активация воды и спин-модификация её ассоциированной фазы пара-изомерами демонстрируют увеличение продуктивности гидробионтов:

– в нелокально активируемой воде – в 1,2 (1-е поколение) и 2,68 (2-е поколение);

– в нелокально активируемой воде с добавкой пара-воды – в 1,39 (1-е поколение) и 1,97 (2-е поколение) раза.

**Заключение.** Из результатов исследования следует, что определяющим фактором среды развития гидробионтов является её квантовое сопряжение с источниками электронов во внешней среде. Это предопределяет значимость квантового сопряжения воды с природными экосистемами, влияющего на клеточный метаболизм. Спиновая пара-модификация фазы ассоциированной воды приводит к дополнительному увеличению продолжительности жизни гидробионтов в первом поколении. Во втором поколении влияние пара-воды сопровождается некоторым снижением как продолжительности жизни гидробионтов, так и их продуктивности.

Ключевые слова: гидробионты *Daphnia magna*; геронтология; ortho-вода и para-вода; фаза ассоциированной воды; нелокальная активация.

**Для цитирования:** Иксанова Т.И., Каменецкая Д.Б., Стехин А.А., Яковлева Г.В., Кочеткова М.Г. Влияние нелокальной активации и пара-состояний фазы ассоциированной воды на продолжительность жизни гидробионтов *Daphnia magna*. Гигиена и санитария. 2019; 98(11): 1251-1256. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-11-1251-1256>

**Для корреспонденции:** Иксанова Татьяна Исмаиловна, научный сотрудник отдела гигиены окружающей среды ФГБУ «ЦСП» Минздрава России, 119121, Москва. E-mail: [iti-1@mail.ru](mailto:iti-1@mail.ru)

**Финансирование.** Статья подготовлена в рамках Государственного задания Министерства здравоохранения.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Участие авторов:** концепция и дизайн исследования – Иксанова Т.И., Каменецкая Д.Б.; сбор и обработка материала – Кочеткова М.Г.; статистическая обработка – Каменецкая Д.Б.; написание текста – Стехин А.А.; редактирование – Яковлева Г.В.; утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все соавторы.

Поступила 24.07.2019

Принята к печати 17.09.19

Опубликована: ноябрь 2019

Iksanova T.I., Kamenetskaya D.B., Stekhin A.A., Yakovleva G.V., Kochetkova M.G.

**THE IMPACT OF NON-LOCAL ACTIVATION AND ASSOCIATED WATER PHASE PARA-STATE ON AN AQUATIC ORGANISMS *DAPHNIA MAGNA* LIFETIME**

Center for Strategic Planning, Russian Ministry of Health, Moscow, 119121, Russian Federation

**Introduction.** The work is devoted to the study of associated water phase magnetic state influence, represented by amorphous ice with a modified ratio of isomers in the increasing of para-water proportion, and non-local water activation based on the technology of non-local quantum water conjugation with the production activating process, on the vital hydrobionts *Daphnia magna* signs.

**Material and methods.** The studies were carried out using non-locally activated drinking water “Si” and a para-water concentrate prepared in hypomagnetic conditions at a residual magnetic flux density not more than 20nT according to the manufacturer’s technology. The para-water concentrate was introduced into the hydrobionts medium in the ratio of 9 ml per 1 liter of water under study.

To obtain offspring, individuals were used, derived on the settled tap water (1<sup>st</sup> generation) and individuals, derived on the water “Si” - 2<sup>nd</sup> generation. One-day individuals of *Daphnia magna* were placed in the amount of 20pcs/l of

the studied water and the entire life cycle were kept in optimal conditions: climatostat P-2 (temperature -  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ , illumination – 1200-2500lux, photoperiod - 12/12) hour. Feeding of *Daphnia* was carried out by *Chlorella microalgae* grown on the medium “Tamiya”-50% with a density  $D=0.65-0.72$ .

**Results.** The life expectancy of *Daphnia magna* hydrobionts in the non-locally activated environment (water “Si”) increases by an average of 38 days in the first generation and 50 days in the second generation, and in an environment with a potentiating additive para-water associates for 58 days (first generation) and 41 days (second generation). The life expectancy of aquatic animals is related by negative correlation with the change in values of the oxidation-reductant potential (Eh) of the environment of hydrobionts development (Corr. = -0.993 (1<sup>st</sup> generation). Both non-local water activation and spin-modification of its associated phase by para-isomers demonstrate an increase in the hydrobionts productivity:

– in non-locally activated water – 1.20 (1<sup>st</sup> generation) and 2.68 (2<sup>nd</sup> generation);

– in non-locally activated water with the addition of para-water – 1.39 (1<sup>st</sup> generation) and 1.97 (2<sup>nd</sup> generation) times.

**Conclusion.** From the results it follows that the determining factor in the hydrobionts medium is its quantum coupling with electron sources in the external environment. This determines the importance of water quantum coupling with natural ecosystems, affecting cellular metabolism. Spin para modification of the associated water phase leads to an additional increase in the hydrobionts life expectancy in the first generation. In the second generation, the influence of para-water is accompanied by some decrease in both the life hydrobionts expectancy and their productivity.

**Key words:** *Daphnia magna* hydrobionts; gerontology; ortho-water and para-water; associated water phase; nonlocal activation.

**For citation:** Iksanova T.I., Kamenetskaya D.B., Stekhin A.A., Yakovleva G.V., Kochetkova M.G. The impact of non-local activation and associated water phase para-state on an aquatic organisms *Daphnia Magna* lifetime. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2019; 98(11): 1251-1256. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-11-1251-1256>

**For correspondence:** Tatyana I. Iksanova, researcher of the environmental health department, Center for Strategic Planning, Russian Ministry of Health, Moscow, 119121, Russian Federation. E-mail: iti-1@mail.ru

**Information about the authors:** Iksanova T.I., <https://orcid.org/0000-0002-3153-8706>;  
Stekhin A.A., <https://orcid.org/0000-0002-8750-0686>; Yakovleva G.V. <https://orcid.org/0000-0002-8766-2773>;  
Kamenetskaya D.B., <https://orcid.org/0000-0002-9050-3757>; Kochetkova M.G., <https://orcid.org/0000-0001-9616-4517>

*Conflict of interest.* The authors declare no conflict of interest.

*Acknowledgment.* The study had no sponsorship.

*Contribution:* concept and design of the study – Iksanova T.I., Kamenetskaya D.B.; collection and processing of material – Kochetkova M.G.; statistical processing – Kamenetskaya D.B.; writing text – Stekhin A.A.; editing – Yakovleva G.V.; approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all co-authors.

Received: July 24, 2019

Accepted: September 17, 2019

Published: November 2019

## Введение

Чувствительность организмов к магнитным изомерам является хорошо установленным фактом [1]. В частности, установлено, что жизнеспособность микроорганизмов *E. coli*, обогащённых магнитным изотопом  $^{25}\text{Mg}$ , оказывается более высокой по сравнению с бактериями, небогащёнными им (немагнитные изотопы  $^{24}, ^{26}\text{Mg}$ ) [2–4].

С магнитным изотопом магния окислительное фосфорилирование в митохондриях протекает в 2–3 раза эффективнее [2]. Влияние магнитно-изотопного эффекта магния на стационарной фазе роста микроорганизмов в 1,5–2 раза выше в случае, когда в питательной среде содержится именно магнитный изотоп магния  $^{25}\text{Mg}$ . Однако увеличение константы скорости роста и жизнеспособности бактериальной культуры в экспоненциальной и стационарной фазах роста приводит к более быстрому отмиранию клеток по сравнению с клетками, культивируемых на средах с немагнитными изотопами магния [1]. Таким образом, живой организм «расплачивается» своим жизненным ресурсом за интенсификацию процессов фосфорилирования магнитным полем как изотопов, так и внешним магнитным полем.

Ранее считалось, что первичными магниторецепторами в живых организмах являются спин-зависимые ион-радикальные реакции [4, 5]. Однако механизм магнитного изотопного эффекта (МИЭ) продолжает оставаться дискуссионным. Так, известно, что под влиянием МИЭ наблюдается более высокий выход АТФ (в 2 раза) в реакции ферментативного фосфорилирования, катализируемой креатинкиназой, в активном центре которой находились магнитные ядра  $^{25}\text{Mg}$ . Это объясняется синглет-триплетной конверсией образующейся ион-радикальной пары со спиновым запретом обратимого процесса в триплетном канале образования АТФ [6].

Однако в последние годы появилось иное объяснение механизма МИЭ. Известно, что реакция гидролиза АТФ с образованием АДФ и фосфата протекает по кислотно-основному меха-

низму [7], и возникновение какой-либо ион-радикальной пары в качестве интермедиата в этой реакции маловероятно [1]. В этой связи авторы [1] связывают каталитический эффект ядерного спина  $^{25}\text{Mg}$  с процессами гидратации и дегидратации электрически заряженных групп.

Если МИЭ сопряжён с процессами гидратации биоструктур, то наряду с магнитными изотопами появляется возможность влиять на скорость биологических процессов путём изменения соотношения молекул воды, различающихся между собой по взаимной ориентации ядерных спинов водорода, а именно: ortho- $\text{H}_2\text{O}$  с параллельной ориентацией протонных спинов ( $S = 1$ ) и para- $\text{H}_2\text{O}$  с антипараллельной ориентацией протонных спинов ( $S = 0$ ). Водородные связи между para- $\text{H}_2\text{O}$ , не имеющие спина в основном состоянии, прочнее и дольше, чем водородные связи между ortho- $\text{H}_2\text{O}$  [8]. Очевидно, что скорость их образования и распада вследствие различий энергетических барьеров отличается для спиновых изомеров.

Возможно также, что ortho- $\text{H}_2\text{O}$  и para- $\text{H}_2\text{O}$  образуют отдельные ассоциаты, обладающие не только отличающейся энергией водородной связи (порядка 1–2 кДж/моль) [8, 9], но и структурной организацией, включая размерные параметры [10]. При этом различия в свойствах этих двух форм воды больше в электрическом поле [11], которое стабилизирует ассоциированное состояние воды [12].

В этой связи можно предположить, что изменение магнитного состояния в фазе ассоциированной воды (представленной аморфными льдами), связанного независимо либо с магнитными ионами, либо с ortho-водой, приводит к увеличению скорости гидратации и дегидратации и связанной с этими процессами активации синтеза АТФ. Тогда замещение ortho-воды на para-воду должно приводить к обратному эффекту – замедлению этих процессов, и как следствие – к увеличению продолжительности жизни.

Для исследования влияния спиновой организации фазы ассоциированной воды на жизненный цикл организмов использовалась биотест-система на основе гидробионтов *Daphnia magna*.

**Электрохимические показатели нелокально активируемой производственным процессом среды развития гидробионтов *Daphnia magna***

Эксперимент	Диапазон изменения показателей*			
	Водородный показатель рН, ед.	Окислительно-восстановительный потенциал Eh, мВ	Концентрация $\text{HO}_2^-$ (*), мкг/л	
			без дафний	с дафниями
Контроль (водопроводная вода)	8,33–8,52	103–167	3,31 (вар. = 0,60)	< 0,01
Опыт 1 «Si»	8,24–8,35	166–196	1,25 (вар. = 1,13)	0,09 (вар. = 0,75)
Опыт 2 («Si» + рага-вода**)	8,23–8,35	153–172	1,71 (вар. = 1,00)	< 0,01

Примечание. \* – в течение всего цикла эксперимента; \*\* – рага-вода (рага-water) – концентрат гипомангнитной воды, добавляемый в исследуемую воду в количестве 9 мл/л.

Биологическая тест-система на основе гидробионтов *Daphnia magna* является показательным инструментом изучения биологической активности питьевых вод, отражающим реакцию высокоорганизованных организмов на изменения состояния фазы ассоциированной воды [13]. В свою очередь структурная организация фазы существенно зависит от магнитных изомеров – ortho- $\text{H}_2\text{O}$  и para- $\text{H}_2\text{O}$  [11].

Высокая чувствительность *Daphnia magna* к малым дозам токсикантов и излучениям способствует развитию хронического стресса. Его присутствие неизбежно сказывается на жизненном цикле особей, включая их воспроизводство [14]. Дисбаланс ферментативных и неферментативных компонентов системы антиоксидантной защиты и колебания активности гидролитических и окислительно-восстановительных ферментов, вызывающие патологические состояния при потреблении спин-модифицированной воды [15], оказывают системное влияние на продолжительность жизни гидробионтов [16]. Это позволяет использовать их не только в качестве тест-объекта при оценке питьевых вод на токсичность, но и их биологической активности. Кроме того, данный тест-объект может быть использован и в оценке влияния нелокальной активации и спин-модифицированной питьевой воды на геронтологические показатели жизни человека.

Цель исследования – оценка влияния нелокальной активации воды и спин-модификации её ассоциированной фазы на геронтологические показатели биотест-системы на основе гидробионтов *Daphnia magna*, используемой для оценки биологической активности питьевой воды.

**Материал и методы**

Для параметризации неравновесных состояний воды, возникающих в результате её неконтактной электронной активации и частичного спинового замещения молекул воды в ассоциированном состоянии, использовались показатели, включающие оценку содержания пероксидного анион-радикала ( $\text{HO}_2^-$ ) [12]), окислительно-восстановительного потенциала (Eh) и водородного показателя (рН) среды развития гидробионтов.

В качестве контрольного объекта исследований влияния на продолжительность жизни тест-объекта *Daphnia magna* использовалась московская водопроводная, выдержанная в течение 3 нед для удаления избыточных концентраций активных форм кислорода. Опытные исследования осуществлялись с использованием нелокально активируемой питьевой воды, содержащей природный кремний «Si» [13], и концентрат рага-воды, приготовленный в гипомангнитных условиях при остаточной плотности магнитного потока не более 20 нТл по технологии производителя.

Для получения потомства использовались особи, выводимые на отстоянной водопроводной воде (1-е поколение), и особи, выведенные на воде «Si», – 2-е поколение. Однодневные особи *Daphnia magna* помещались в количестве 20 шт./л исследуемой воды и весь жизненный цикл содержались в оптимальных условиях: климатостат Р-2 (температура –  $20 \pm 1$  °С, освещённость – 1200–2500 люкс, фотопериод – 12/12 ч) [13]. Кормление дафний осуществлялось микроводорослью *Chlorella*, выращенной на среде «Тамийя»-50% с плотностью  $D = 0,65\text{--}0,72$ .

Гипомангнитный концентрат вводился в дозе 9 мл/л ежедневно после долива воды «Si» в объёме 150 мл (данный объём воды отбирался для измерений электрохимических показателей). Опытные («Si» и «Si» с добавлением концентрата «рага-water») и контрольный (водопроводная отстоянная вода) размещались в двух пространственно разнесённых в различные помещения термостатах, в которых поддерживались идентичные условия содержания гидробионтов.

Измерения электрохимических показателей среды развития гидробионтов осуществлялись ежедневно.

**Результаты**

Электрохимические показатели исследуемой среды развития гидробионтов (табл. 1) в течение всего срока экспериментов варьировали примерно в одинаковом диапазоне значений. Однако значения вариаций окислительно-восстановительного потенциала в контрольных и опытной средах отличались между собой: в водопроводной среде –  $\Delta\text{Eh} = 66$  мВ, в контроле «Si» –  $\Delta\text{Eh} = 30$  мВ, в опытной среде («Si» с рага-вода) –  $\Delta\text{Eh} = 19$  мВ.

Существенные изменения отмечались и для значений концентрации пероксидных анион-радикалов. В контрольной среде (без дафний) концентрация  $\text{HO}_2^-$ (\*) находилась в пределах 3,3 мкг/л, в то время как в образцах среды на основе воды «Si» она примерно в 2 раза меньше.

В присутствии дафний концентрация пероксид анион-радикалов в средах существенно изменяется: в контрольной водопроводной воде и в опытной воде «Si» + рага-вода концентрация меньше порога чувствительности прибора (менее 0,01 мкг/л), в то время как в среде «Si» её значения достигают 0,1 мкг/л. В то же время повышенные значения концентрации пероксид анион-радикалов в среде «Si» связаны с процессами нелокального переноса электронов, в ходе которых уменьшение электронной плотности воды, идущей на поддержание метаболизма организмов, компенсируется дополнительным поступлением электронов из кванто-сопряжённого резервуара энергии [12].

Результаты исследований продолжительности жизни (рис. 1, см. на 3-й стр. обложки) и продуктивности (рис. 2, см. на 3-й стр. обложки) двух поколений гидробионтов *Daphnia magna* в нелокально активируемой воде марки «Si», включая её форматирование рага-водой, свидетельствуют о значительных изменениях их жизненного цикла.

Сопоставление средних значений по продолжительности жизни гидробионтов *Daphnia magna* в нелокально активируемой среде жизнедеятельности (воде «Si») свидетельствует об увеличении их жизненного цикла в среднем на 38 сут в первом поколении и на 50 сут во втором поколении (табл. 2), а также на 58 сут (первое поколение) и 41 сут (второе поколение) – в среде с потенцирующей добавкой рага-ассоциатов воды (гипомангнитный концентрат). При этом необходимо отметить, что в контрольной воде продолжительность жизни несколько выше ожидаемая (по первому поколению) – 50 сут вместо статистически достоверной величины 45 сут [13]. Очевидно, несмотря на предпринятые меры по ограничению квантового контакта между исследуемыми объектами, процесс активации затрагивает частично и контрольный образец.

**Показатели жизнеспособности и продуктивности гидробионтов *Daphnia magna* в нелокально активированной и спинмодифицированной среде развития**

Исследуемая вода	Жизнеспособность (продолжительность жизни), сут		Продуктивность (количество особей в потомстве), Нд, штук
	среднее	вариации	среднее (на особь)
<i>1-е поколение (см. рис. 1)</i>			
Водопроводная вода (ВВ) – контроль (1)	50,35	0,50	74,1
«Si» (2)	88,55	0,31	89,2
«Si» + para-water (3)	108,45	0,24	103,3
<i>2-е поколение (см. рис. 2)</i>			
ВВ (родители – «Si») (1)	64,42	0,55	62,6
«Si» (родители – «Si») (2)	100,05	0,16	167,0
ВВ (родители – «Si» + para-water) (3)	60,63	0,25	30,8
«Si» (родители – «Si» + para-water) (4)	91,50	0,24	122,3

Следует отметить, что показатели продолжительности жизни гидробионтов находятся в отрицательной корреляционной зависимости с изменениями значений окислительно-восстановительного потенциала среды развития гидробионтов –  $K_{\text{корр.}} = -0,993$  (1-е поколение). Это указывает на определяющее влияние временных вариаций редокс-состояния среды развития гидробионтов и связанных с ними адаптационных процессов на их геронтологические показатели.

Примечательной особенностью кинетики нарастания численности рождаемых особей во втором поколении является её примерно равный рост до 50 сут жизни особей и последующий её взрывной рост в нелокально и спин-модифицированных образцах воды. Возможно, что данный эффект обусловлен конкурентными проявлениями в сообществе особей либо с индивидуальной чувствительностью их представителей к изменениям в окружающей среде. Следует отметить, что данная закономерность явно проявляется после 50-суточной экспозиции, когда в контрольном образце отмирает 50% особей.

При этом чётко проявляется закономерность уменьшения значений вариационного показателя с ростом самой продолжительности жизни (Т): в контрольных образцах вариации составляют 0,5–0,55; в опытной воде, подвергнутой нелокальной активации, – вариация  $T = 0,31-0,16$ , а в этой же воде с внесением пара-воды вариация  $T = 0,24$ . Очевидно, что нелокальная активация воды и спин-модификация её ассоциированной фазы пара-водой (в первом поколении) обеспечивают реализацию заложенного генетического потенциала организмов, в то время как в контрольных экспериментах, вероятно, имеют место повреждение клеточных структур организмов.

Впечатляющие результаты нелокальной активации воды и её спин-модификации пара-изомерами воды демонстрирует показатель увеличения продуктивности гидробионтов:

– в нелокально активируемой воде – в 1,76 (1-е поколение) и 1,55 (2-е поколение);

– в нелокально активируемой воде с добавкой пара-воды – в 2,15 (1-е поколение) и 1,42 (2-е поколение) раза.

Сравнение полученных данных по показателям жизнеспособности гидробионтов *Daphnia magna* подтверждает предположение об увеличении продолжительности жизни высокоорганизованных животных организмов в нелокально активируемых водах, поддерживающих электрофизическое состояние среды развития гидробионтов за счёт поступления дополнительных электронов на квантово-сопряжённый объект от производственного активирующего процесса [12]. Из этого следует, что определяющим фактором среды развития гидробионтов является её квантовое сопряжение с источниками электронов во внешней среде. Это предопределяет значимость квантового сопряжения воды (питьевой воды) с природными экосистемами, так как изменение химического состава воды, приводящее к нарушению

квантового сопряжения между взаимодействующими объектами, порождает электрон-дефицитные состояния воды, влияющие на клеточный метаболизм.

Спиновая пара модификация фазы ассоциированной воды (опыт 2) приводит к дополнительному увеличению продолжительности жизни гидробионтов в первом поколении. Во втором поколении влияние пара-воды сопровождается некоторым снижением как продолжительности жизни гидробионтов, так и их продуктивности.

Очевидно, что влияние пара-воды на показатели жизнедеятельности гидробионтов не является однозначным и не сводится исключительно к процессам гидратации-дегидратации электрически активных структур организма, а задействует целый спектр регуляторных механизмов [12]. Выполнить их анализ в рамках одного исследования не представляется возможным. Однако некоторые базовые положения оценки влияния пара-изомеров воды на клеточный метаболизм могут быть обоснованы.

**Обсуждение**

Как следует из экспериментальных результатов, продолжительность жизни и продуктивность гидробионтов зависят от двух основных факторов: нелокальной связи среды развития организмов (воды) с электрон-донорной активностью её квантово-сопряжённых структур и спиновой организации молекул воды в её ассоциированной фазе. Если физический механизм квантового сопряжения воды связан со сверхтекучим поведением электронной подсистемы в её ассоциированной фазе, в результате которого обеспечивается дополнительный приток электронов в биосистему [12], то влияние спин-модификаций воды на её биологическую активность и геронтологические показатели является следствием многих структурно-физических процессов, протекающих в клеточных структурах организма. При этом имеет значение как магнитная организация ассоциатов воды, так и индуцированные намагничённостью воды изменения структурного состояния белковых и нуклеиновых комплексов.

Основываясь на результатах исследований, можно утверждать, что управление метаболическими процессами биообъекта обусловлено поведением электронной и протонной компонент сверхтекучего тока в ассоциированных состояниях воды. Намагничённость внешней среды и магнетизм оказывают влияние на ассоциированное состояние воды, что приводит к увеличению размерных параметров и изменению сверхтекучего тока, определяющего электрон-транспортные функции электронной подсистемы воды и её амплитудно-частотные характеристики [12]. Внутриклеточные проявления данной трансформации связаны с изменениями в клеточном цикле, так как клеточный цикл регулируется в зависимости от размерных параметров пероксидных ассоциатов [12]. В то же время объ-

ектами трансформации под действием магнитных состояний воды являются и белково-нуклеиновые комплексы.

Изменения структурного состояния белковых комплексов под влиянием спин-модифицированных состояний молекул воды определяют преимущественную адсорбцию пара-воды [17, 18]. При этом энергетическая оптимизация взаимных водородных связей между белком, водой и лигандом является неотъемлемой частью процесса молекулярного распознавания ферментов, связывающих белки и в целом биологические макромолекулы [19].

Пара-вода в ассоциированной фазе гидрофильных фрагментов белков, характеризуемая большей плотностью и соответственно большим внутримолекулярным давлением [20], увеличивает энтропию активации своей структурной реорганизации [21]. Высокие давления увеличивают вариации свободной энергии системы [22]. При этом происходит дестабилизация внутренних связей в белках [23], что может сопровождаться увеличением устойчивости отдельных спиральных структур и конформаций [24].

Энтропийный фактор особенно критичен для двухфазных водных систем вблизи белков, в которых гидрофильная ассоциированная фаза воды связана с анионными участками белков, а с их гидрофобными участками формируется связанная вода, лишённая избыточных электрических зарядов (вторая фаза) [12]. Гидрофильная фаза содержит нанопустоты и является менее плотной, чем гидрофобная фаза. Исходя из этого, основные изменения в упаковке молекул воды происходят в ассоциированной фазе. В ней же стабильно может существовать неравновесное состояние в соотношении орто- и пара-воды, в котором доминирует пара-вода (гипомагнитные условия).

Рассмотрим влияние пара-воды на структурно-динамическое состояние белковых структур на примере белков-транслоконов, необходимых для ко-трансляционной сборки мембранных белков. Данные белки содержат большие заполненные водой полости. Вода полости ведёт себя совершенно иначе, чем объёмная вода, имеющая замедленную динамику вращения [25]. Замедленная динамика вращения воды вокруг «активных» участков облегчает реакции гидратации через «воронку активного центра» [26]. На протекание реакций лигандов с активными центрами белков оказывают влияние соседние электрически активные участки третичной структуры белка, формируя заряженные группы [27].

Влияние пара-воды на нуклеиновые кислоты связано с процессами сольватации биополимера, играющими жизненно важную роль в стабильности структуры и функциях ДНК [28]. Данные последних исследований по распределению ионов и молекул вокруг спиральных нуклеиновых кислот, выполненные в работе [29], указывают на сильную локализацию ионной плотности вблизи фосфозфирной связи, где ионы взаимодействуют с полинуклеотидной цепью, вызывая её конформационные флуктуации [30]. Взаимодействие ДНК с локализованным ионным формированием растворителя, обеднённого орто-изомерами, заставляет её более эффективно конденсироваться, РНК складываться, а белки связываться между собой. Отсюда при оценке биологического процесса необходимо учитывать структурное и спиновое состояние «растворителя» вокруг нуклеиновых кислот. Это позволяет получить более достоверную картину гидратационного связывания нуклеиновых кислот. При этом в процессе моделирования явлений гидратации нуклеиновых кислот [31] необходимо учитывать новые представления о фазовом состоянии воды, позволяющие оценивать не только контактные, но и дистанционные магнитные и электрические взаимодействия «центров гидратации» ДНК с полевыми структурами ассоциированного состояния воды [12].

## Закключение

Таким образом, физический механизм влияния намагничённости воды (МИЭ) на показатели жизнедеятельности биообъектов определяется энергетическими процессами гидратации при связывании активных участков белков и нуклеиновых кислот в гидратные комплексы.

Следовательно, геронтологические показатели высокоорганизованных организмов находятся в сильной зависимости не только от обменных электронных взаимодействий организма

с окружающей средой, но и с намагничённостью ассоциированного состояния воды. При этом увеличение намагничённости воды сокращает жизненный цикл организмов, и наоборот, её снижение приводит к удлинению жизни.

В то же время спин-модификация фазы ассоциированной воды в живых организмах приводит к частичному сокращению продолжительности жизни и продуктивности гидробионтов во втором поколении.

## Литература

(пп. 5, 7, 8, 10, 13, 14, 17–31 см. References)

1. Авдеева Л.В., Кольтовер В.К. Ядерный спиновый катализ в живой природе. *Вестник Московского университета. Химия*. 2016; 57 (3): 145–53.
2. Летута У.Г. Магнито-изотопные эффекты в клетках *E. coli*. Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Саратов; 2012. 24 с.
3. Шевченко У.Г., Авдеева Е.И., Бердянский В.Л. Биологические эффекты магнитного изотопа  $^{25}\text{Mg}$  в клетках *E. coli*. *Химическая физика*. 2012; 31 (7): 1–18.
4. Кольтовер В.К., Шевченко У.Г. и соавт. Магнито-изотопический эффект магния в живой клетке. *Доклады Академии наук*. 2012; 442 (2): 272–4.
6. Киприянов А.А. Неравновесные и многочастичные магнито-спиновые эффекты в радикальных реакциях. Дис. ... канд. физ.-мат. наук. Новосибирск; 2014.
10. Гиберт К.К., Стехин А.А., Яковлева Г.В., Сулина Ю.С. Сохранение электрон-донорных свойств воды. *Гигиена и санитария*. 2015; 3: 97–100.
12. Методические рекомендации по установлению предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ для воды рыбохозяйственных водоёмов. М.: ВНИРО; 1986.
13. Куприянов Р.В., Жданов Р.И. Стресс и аллостаз: проблемы, перспективы и взаимосвязь. *Журнал высшей нервной деятельности*. 2014; 64 (1): 21–31.
16. Малафеева Е.Ф., Шалашова О.В. Гидробионты как маркёры экологического состояния озёр Пустынского природного комплекса. *Современные научные исследования и инновации*. 2014; 8 (1). [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/08/37314> (дата обращения: 25.03.2019).
17. Кузнецов В.А. Астатичность факторов среды как экологический оптимум для гидробионтов. Дис. ... д-ра биол. наук; 2005. 320 с.

## References

1. Avdeeva L.V., Koltover V.K. Nuclear spin catalysis in nature. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Khimiya [Vestnik of Moscow state University. Chemistry]*. 2016; 57 (3): 145–53. (in Russian)
2. Letuta U.G. Magnetic isotope effects in *E. coli* cells. Autoabstract of Diss. Saratov; 2012. 24 p. (in Russian)
3. Shevchenko U.G., Avdeeva E.I., Berdyanskiy V.L. Biological effects of magnetic isotope  $^{25}\text{Mg}$  in *E. coli* cells. *Khimicheskaya fizika [Chemical physics]*. 2012; 31 (7): 1–18. (in Russian)
4. Koltover V.K., Shevchenko U.G. et al. Magnetic isotopic effect of magnesium in a living cell. *Doklady Akademii nauk [Reports of the Science Academy]*. 2012; 442 (2): 272–4. (in Russian)
5. Buchachenko A.I. *Magnetic isotope effects in chemistry and biochemistry*. New York: Nova Science Publishers; 2009. 149 p.
6. Kiprianov A.A. Nonequilibrium and many-body magnetic-spin effects in radical reactions. Diss. Novosibirsk; 2014. (in Russian)
7. Nelson D.L., Cox M.M. *Lehninger Principles of Biochemistry*. N.Y.: 2008. 1100 p.
8. Pershin M. Two-liquid water. *Physics of Wave Phenomena*. 2005; 13: 192–208.
9. Pershin S.M. Harmonic oscillations of the concentration of H-bonds in liquid water. *Laser Phys.* 2006; 16: 1184–90.
10. Gibert K.K., Stekhin A.A., Yakovleva G.V., Sulina Yu.S. Preservation of electron-donor properties of water. *Gigiyena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian Journal]*. 2015; 3: 23: 97–100. (in Russian)
11. Andreev S.N., Makarov V.P., Tikhonov V.I., Volkov A.A. Ortho and para molecules of water in electric field. *Chemical Physics*. 2007, 4: 4–8.
12. Guidelines for the establishment of maximum permissible concentrations of pollutants for the water of fishery water bodies. Moscow: VNIPO; 1986. (in Russian)
13. Kupriyanov R.V. Zhdanov R.I. Stress and allostasis: problems, prospects and interrelation. *Zhurnal vysshey nervnoy deyatel'nosti [Journal of Higher Nervous Activity]*. 2014; 64 (1): 21–31. (in Russian)
14. Stekhin A., Yakovleva G., Pronko K., Zemskov V. Water as the main regulator of intracellular processes. *Clin Pract.* 2018; 15 (5): 841–55. DOI: 10.4172/clinical-practice.1000418.

15. Asselman J., Pfrender M.E., Lopez J.A., De Coninck D.I. Conserved transcriptional responses to cyanobacterial stressors are mediated by alternate regulation of paralogous genes in *Daphnia*. *Mol Ecol*. 2015; 24(8): 1844–55.
16. Malafeeva E.F., Shalashova O.V. Hydrobionts as markers of ecological state of lakes of the Desert natural complex. *Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovatsii* [Modern Research and Innovation]. 2014; 8(1). Available at: <http://web.snauka.ru/issues/2014/08/37314> (date of treatment: 25.03.2019). (in Russian)
17. Kuznetsov V.A. Estetichnost environment factors as ecological optimum for aquatic organisms. Diss. 2005. 320 p. (in Russian)
18. Potekhin S.A., Khusainova R.S. Spin-dependent absorption of water molecules. *Biophys Chem*. 2005; 118: 84–7.
19. Ben-Naim A. Molecular recognition-viewed through the eyes of the solvent. *Biophys Chem*. 2002; 101–2: 309–19.
20. De Oliveira G.A.P., Silva J.L. A hypothesis to reconcile the physical and chemical unfolding of proteins. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Published online. 2015; E2775–E2784.
21. Nucci N.V., Pometun M.S., Wand A.J. Mapping the hydration dynamics of ubiquitin. *J Am Chem Soc*. 2011; 133: 12326–9.
22. Librizzi F., Carrotta R., Peters J., Cupane A. The effects of pressure on the energy landscape of proteins. *Sci Rep*. 2018; 8: 2037.
23. Urquidi C.J., Benmore J., Neufeind B., Tomberli C.A., Tulk M., Guthrie P.A. et al. Isotopic quantum effects on the structure of low density amorphous ice. *J Phys Condens Matter*. 2003; 15: 3657–64.
24. Best R.B., Miller C., Mittal J. Role of solvation in pressure-induced helix stabilization. *J Chem Phys*. 2014; 141: 22D522.
25. Capponi S., Heyden M., Bondar A.-N., Tobias D.J., White S.H. Anomalous behavior of water inside the SecY translocon. *PNAS*. 2015; 112: 9016–21.
26. Xu Y., Havenith M. Perspective: Watching low-frequency vibrations of water in biomolecular recognition by THz spectroscopy. *J Chem Phys*. 2015; 143: 170901.
27. Vaillant C., Althorpe S.C., Wales D.J. Path integral energy landscapes for water dimer. *J Chem Theory Comput*. (2019) Article in press. DOI: 10.1021/acs.jctc.8b00675.
28. Martin D.R., Matyushov D.V. Dipolar Nanodomains in Protein Hydration Shells. *J Phys Chem Lett*. 2015; 6: 407–12. DOI: 10.1021/jz5025433.
29. Saha D., Supekar S., Mukherjee A. Distribution of Residence Time of Water Around DNA Base Pairs: Governing Factors and the Origin of Heterogeneity. *J Phys Chem B*. 2015; 119: 11371–81. DOI: 10.1021/acs.jpcc.5b03553.
30. Lavery R., Maddocks J.H., Pasi M., Zakrzewska K. Analyzing Ion Distributions Around DNA. *Nucleic Acids Res*. 2014; 42: 8138–49. DOI: 10.1093/nar/gku504.
31. Meisburger S.P., Pabit S.A., Pollack L. Determining the Locations of Ions and Water around DNA from X-Ray Scattering Measurements. *Biophys J*. 2015; 108: 2886–95. DOI: 10.1016/j.bpj.2015.05.006.

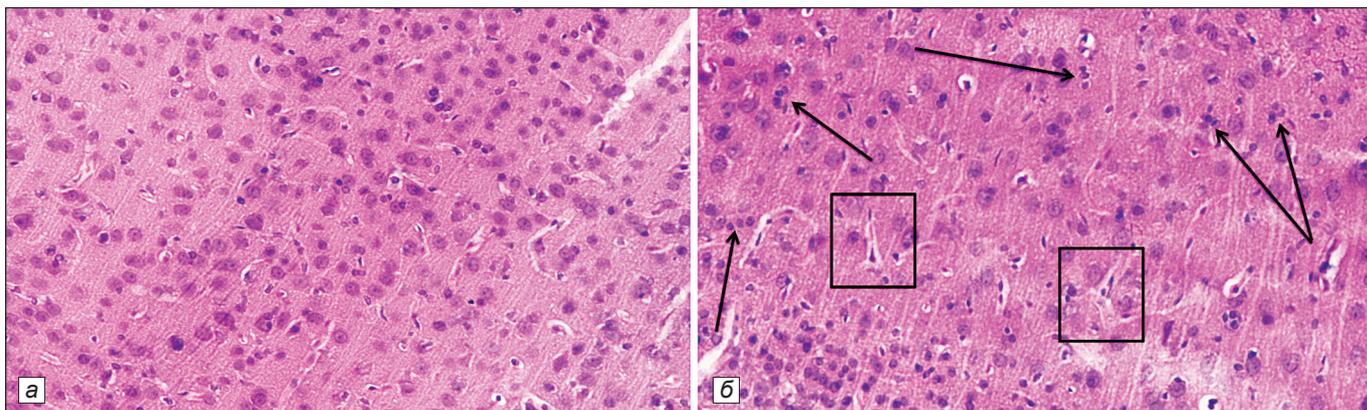


Рис. 3. Ткань головного мозга самок белых крыс контрольной (а) и опытной групп (б).  
 ↑ – нейрофагия; □ – расширение периваскулярных пространств. Окраска гематоксилин-эозин. Увеличение × 400.

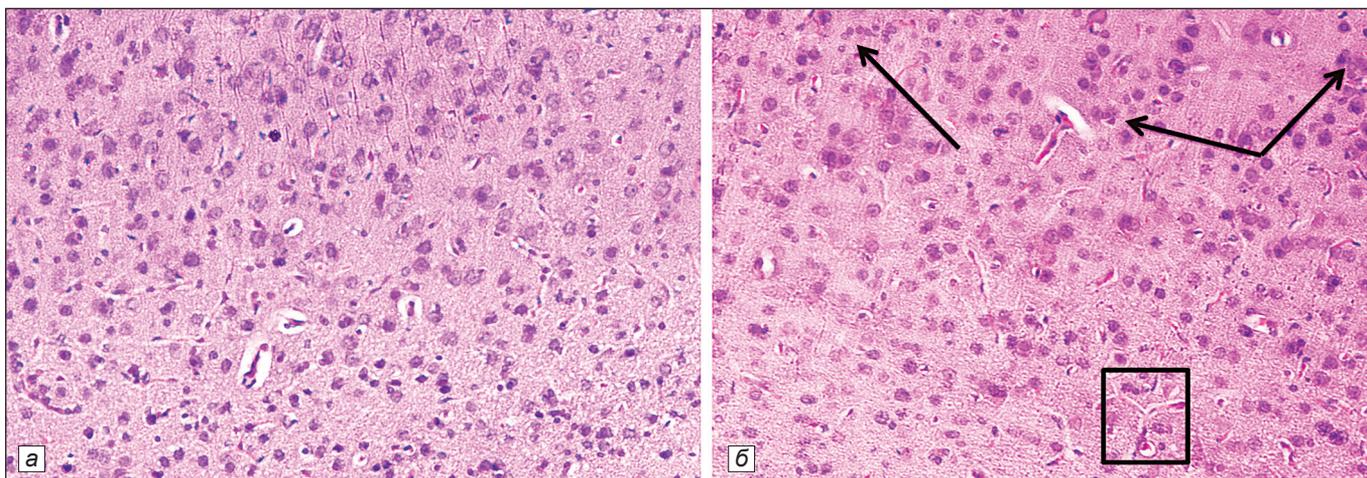


Рис. 4. Ткань головного мозга самцов белых крыс контрольной (а) и опытной групп (б).  
 ↑ – нейрофагия; □ – полнокровные сосуды с расширением периваскулярных пространств. Окраска гематоксилин-эозин. Увеличение × 400.

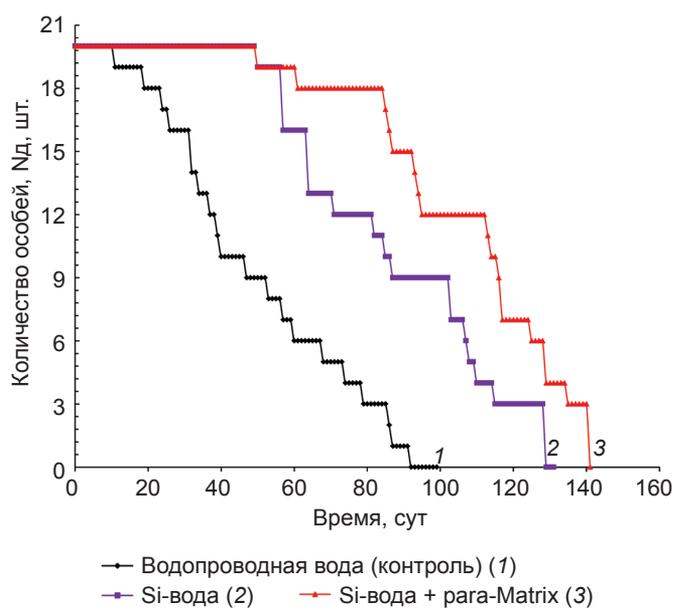


Рис. 1. Динамика изменения численности (количество материнских особей) гидробионтов *Daphnia magna* (1-го поколения) в контроле с отстоянной водопроводной водой и опыте: 1 – в воде «Si», подвергаемой нелокальной активации; 2 – в воде «Si» с добавлением пара-воды (para-water).

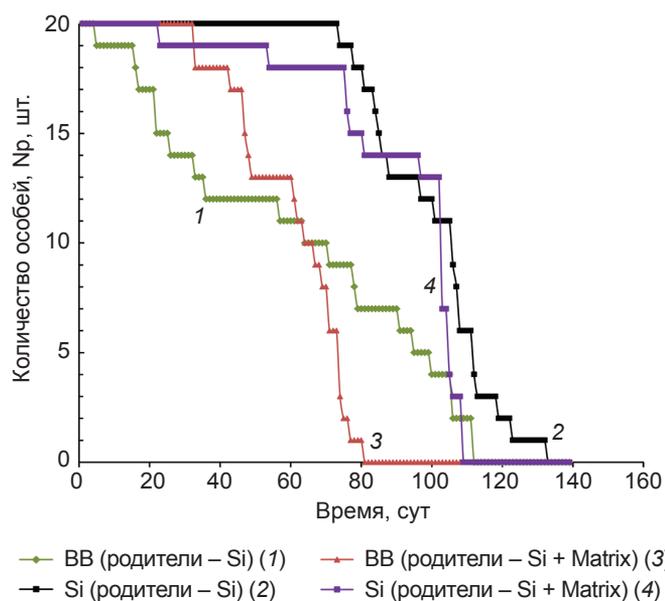


Рис. 2. Динамика продуктивности (количество особей, нарастающим итогом) гидробионтов *Daphnia magna* (2-е поколение) в контроле с отстоянной водопроводной водой и опыте: 1 – в воде «Si», подвергаемой нелокальной активации; 2 – в воде «Si» с добавлением пара-воды (para-water).