

ВЛИЯНИЕ МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛН И ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРНО-ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ В БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Н. В. Древаль¹, С. Ю. Рубан², В. Г. Колесников¹

¹Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины

²Украинская академия аграрных наук

Проанализированы некоторые аспекты механизмов взаимодействия молекул воды в биологической системе с радиоволнами миллиметрового спектра частот и низкоинтенсивными электромагнитными полями терагерцового и оптического диапазонов частот. Рассмотрено состояние связанной воды (гидратации) в структурах макромолекул под действием радиофизических факторов.

Эффекты воздействия миллиметровых и субмиллиметровых волн проявляются на всех уровнях биологической организации организма, начиная с субмолекулярного [1, 2]. На сегодняшний день теоретические данные говорят в пользу того, что ключевой точкой в биологических эффектах этих физических факторов являются молекулы воды, особенно молекулы свободной воды, поглощающие миллиметровое и субмиллиметровое лазерное излучение [3].

Молекулярную основу воды составляет равновесная смесь гексагональных и трехатомных молекул, ассоциированных посредством водородных связей в пространственные образования, названными кластерами, с размерами 0,5–1 нм, включающими в себя до 912 молекул воды и определяющими информационно-фазовое состояние воды [4]. Предположение о кластерной структуре воды послужило основой для гипотезы об информационно-резонансном взаимодействии миллиметровых волн с биологическими объектами, а также с водой в биологической системе [5, 6]. Ряд авторов [7, 8] утверждают, что под действием или внешних физико-химических факторов, или из-за собственных колебаний молекул в диапазоне крайне высокой частот [9], кластеры воды превращаются в информационные ячейки, разрушающиеся при передаче электромагнитной энергии белковым макромолекулам.

Объяснение механизмов действия в работах Ю. И. Хургина сводится к тому, что вращательная подвижность определенной доли молекул воды, при наличии внешнего электромагнитного поля, сохраняется при фиксированной частоте падающего излучения; энергия волны преобразуется во вращательные, поступательные и либрационные колебания молекул воды. Причем часть этой энергии передается молекулам, входящим в гидратную оболочку белков, состоящую из молекул связанной воды, которые по некоторым данным [10] составляют ~ 0,3 г воды/г белка (рис. 1); при этом увеличивается критическая гидратация белков и они переходят из функционально пассивного состояния в функционально активное.

Из-за сложности интерпретации экспериментальных данных, однозначной информации о состоянии воды возле молекул не было получено ни по оценке самодиффузии, электропроводности, ни по данным диэлектрической проницаемости (табл. 1) [11].

Поглощение излучения низкой интенсивности качественно и количественно меняется в зависимости от характера взаимодействия молекул воды с молекулами растворенного в ней вещества, при этом по эффекту нарушения аддитивности поглощения миллиметрового излучения водными растворами можно судить о гидратации макромолекул [12–14].

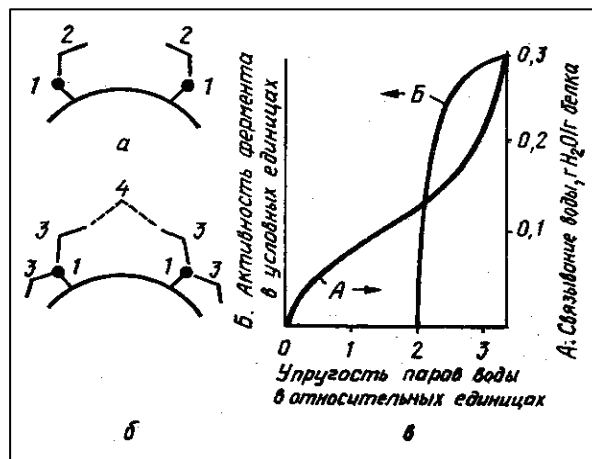


Рис. 1. Схема первичной гидратации и ферментативная активность белка
 (а, б — 1 — прочно связанные центры гидратации, 2 — дважды гидратированный центр, 3 — молекула воды,
 в — взаимосвязь активности фермента (Б) с его увлажнением (А) [10].

При определении гидратационных свойств нативных клеток, например, спермиев быков-производителей, основные акценты были поставлены на то, что компоненты половой клетки, такие как минеральные соли, белки, аминокислоты и т. п. как и сам спермий, несут на себе определенный электрический заряд и представляют собой в водном растворе центры гидратации [15]. При этом не исключалось, что структурные изменения самих центров гидратации должны приводить к изменениям их гидратных оболочек, т. е. количества связанной воды. Используя различные методологические подходы, было посчитано количество связанной воды, приходящейся на один спермий, что составило $\sim 120\text{--}140 \times 10^{-2} \text{ см}^3$, а также толщина гидратной оболочки спермия $\sim 0,3 \text{ мкм}$ [15].

Таблица 1

Средние значения гидратации и толщина гидратного слоя некоторых препаратов, полученных различными методами

Препарат	Среднее значение гидратации, г воды / г вещества	Толщина гидратного слоя, Å
ДНК	0,45	3,0
Проколлаген	0,4	2,5
Сывороточный альбумин	0,3	3,0
Яичный альбумин	0,25	2,5
Гемоглобин	0,3	3,0

Первичной мишенью биологического действия миллиметровых волн по данным И. В. Родштата являются также молекулы воды, связанные с белковыми структурами кожного коллагена. Согласно его концепции энергия электромагнитных миллиметровых волн трансформируется в энергию поступательного и вращательного движения молекул воды, что приводит к изменению гидратации белковых молекул и, следовательно, к изменению активности ферментных систем [16, 17].

Явление резонансно-волнового состояния молекулярной системы воды и водной компоненты биотканей организма человека, известное как СПЕ эффект, основано на том, что электромагнитные волны миллиметрового диапазона воздействуют на молекулы воды и водные кластеры [18, 19]. При падении на водную поверхность или водосодержащую среду низкоинтенсивных электромагнитных волн в миллиметровом диапазоне ($10\text{--}20 \text{ мкВт/см}^2$) могут возникнуть волны, распространяющиеся в среде почти без потерь. В волновом движении участвуют не отдельные молекулы воды, а молекулярные ассоциаты, в которых роль связующих сил играют водородные связи, причем возбуждение этих волн носит резонансный характер на частотах 51 ГГц, 65 ГГц и 100 ГГц.

Исследование механизмов взаимодействия когерентного лазерного излучения с биологической тканью и с её водным окружением приобрело особую актуальность после выявления значительного терапевтического эффекта. Наряду с концепцией о том, что в результате первичной фотобиохимической реакции происходит поглощение лазерного излучения биологическими макромолекулами такими как ДНК, РНК, белка, коллагена и др. [1, 2], существует также предположение о роли структурированной воды в механизмах воздействия электромагнитных волн оптического диапазона [20], при этом, достигая

дефектных участков биологических тканей, лазерное излучение определенных частот перестраивает водное окружение дефектных молекул.

Фотобиологическое действие низкоинтенсивного лазерного излучения, помимо влияния на биополимеры [21], ферменты — антиоксиданты [22] и компоненты цепи транспорта электронов в митохондриях [23, 24], также рассматривается некоторыми авторами с акцентом на неспецифическое влияние на структуру воды [25]. Мнение о том, что неспецифическое низкоинтенсивное лазерное излучение изменяет первоначально кластерную структуру воды, а затем изменяются гидрофобные взаимодействия белков, обсуждается и другими авторами, хотя это остается на уровне предположений из-за отсутствия экспериментальных и теоретических доказательств как *in vitro*, так и *in vivo* [26].

Хотя спектроскопия лазерного терагерцового диапазона радиоволн, охватывающая диапазон частот $f = 1 \text{ ТГц} \div 30 \text{ ТГц}$, в основном, направлена на изучение структурно-функциональных особенностей белковых молекул, следует отметить, что на частотах 2,3 ТГц и 2,9 ТГц с помощью р-Ge и CO₂ лазеров были определены размер и структурно-динамические характеристики гидратных слоев различных белковых и углеводных молекул [27–29].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время благодаря исследованиям гидратации, динамических характеристик воды, водородных связей в системе вода–биообъект, складываются предпосылки по созданию прецизионного инструментария наноуровня для воздействия на биологические системы. Лазерная технология вместе с традиционными методами, в основе которых лежат волны миллиметрового диапазона, такими как КВЧ-терапия, терапия фоновым резонансным излучением, микроволновая резонансная терапия и прецизионно-волновая терапия, представляют перспективу для клинической медицины, практической ветеринарии и др., как нефармацевтическое воздействие на биологические объекты различных уровней организации.

Перспективы дальнейших исследований. Представлен обзор литературы о влиянии миллиметровых волн и лазерного излучения на структурно-динамические свойства воды в биологических системах, что обосновывает теоретические подходы к практическому применению электромагнитных полей, как нефармацевтическое воздействие на биологические объекты, в сельскохозяйственной биотехнологии для повышения пролиферативной активности клеток в культуре, активности спермы в целом.

ВПЛИВ МІЛІМЕТРОВИХ ХВИЛЬ ТА ЛАЗЕРНОГО ОПРОМІНЕННЯ НА СТРУКТУРНО-ДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВОДИ В БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМАХ

Н. В. Древаль, С. Ю. Рубан, В. Г. Колесніков

АНОТАЦІЯ

Проаналізовані деякі аспекти механізмів взаємодії молекул води в біологічній системі з радіохвилями міліметрового спектра частот та низькоінтенсивними електромагнітними полями терагерцового та оптичного діапазонів частот. Розглянуто стан зв'язаної води (гідратації) у структурах макромолекул під дією радіофізичних факторів.

INFLUENCE OF MILLIMETER WAVES AND LASER RADIATION ON STRUCTURAL-DYNAMIC PROPERTIES OF WATER IN BIOLOGICAL SYSTEMS (REVIEW)

N. V. Dreval, S. Yu. Ruban, V. G. Kolesnikov

SUMMARY

Some aspects of interaction mechanisms of water molecules in biological system with radio waves of a millimeter spectrum frequencies and low-intensity electromagnetic fields both terahertz

and optical frequencies ranges were analyzed in this article. The bond water state (hydration) in macromolecules structures under influence of radio physical factors was considered.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соклаков А. И. Проблемы дозиметрии лазерного излучения в медицине и биологии / Соклаков А. И. // *Laser Market*. — 1993. — № 6. — С. 14–15.
2. Малов А. Н. Фрактальность биоткани и лазерная биостимуляция в рамках солитонно-голографической парадигмы : Труды V Международного семинара «Применение лазеров в науке и технике» / Малов А. Н. — Новосибирск, 1992. — С. 95.
3. Бецкий О. В., Голант М. Б., Девятков Н. Д. Миллиметровые волны в биологии. / Бецкий О. В., Голант М. Б., Девятков Н. Д. — М. : Знание, 1988. — 64 с.
4. Зенин С. А. О механизме активации воды : Труды 2 международного симпозиума «Электрохимическая активация в медицине, сельском хозяйстве, промышленности» / Зенин С. А. — М., 1999. — С. 123–124.
5. Бриль Г. Е. Содержание структурного матрикса воды — ведущий механизм регуляции гомеостаза в живых системах / Бриль Г. Е., Петросян В. И., Сеницын Н. И., Елкин В. А. // *Биомедицинская радиоэлектроника*. — 2000. — № 2. — С. 18–23.
6. Девятков Н. Д. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. / Девятков Н. Д., Голант М. Б., Бецкий О. В. — М. : Радио и связь, 1991. — 126 с.
7. Петросян В. И. Вода, парадоксы и величие малых величин / Петросян В. И., Сеницын Н. И., Елкин В. А., Девятков Н. Д., Бецкий О. В. // *Биомедицинская радиоэлектроника*. — 2000. — № 2. — С. 4–9.
8. Петросян В. И. Взаимодействие водосодержащих сред с электромагнитными полями / Петросян В. И., Сеницын Н. И., Елкин В. А. Башкатов О. В. // *Биомедицинская радиоэлектроника*. — 2000. — № 2. — С. 10–17.
9. Бецкий О. В. Электромагнитные миллиметровые волны и живые организмы / Бецкий О. В., Девятков Н. Д. // *Радиотехника*. — 1996. — № 9. — С. 23–28.
10. Гайдук В. И. Вода, излучение, жизнь / Гайдук В. И. — М. : Знание, 1991. — 63 с.
11. Привалов П. Л. Вода и её роль в биологических системах / Привалов П. Л. // *Биофизика*. — 1968. — Т. 13, вып. 1. — С. 163–177.
12. Хургин Ю. И. Биохимия. / Хургин Ю. И., Росляков В. Я., Клячко-Гурвич А. Л., Бруева Т. Р. — 1972. — Т. 37, № 3. — С. 485–492.
13. Чернавский Д. С. Физические механизмы взаимодействия белковых макромолекул с КВЧ излучением / Чернавский Д. С., Хургин Ю. И. // *Миллиметровые волны в медицине и биологии*. — М. : Издательство ИРЭ АН СССР, 1989. — С. 227–235.
14. Девятков Н. Д. Обнаружение эффекта нормализации функционального состояния внутренних органов человека под воздействием активированной миллиметровым излучением воды / Девятков Н. Д., Кислов В. Я., Кислов В. В. и др. // *Миллиметровые волны в биологии и медицине*. — 1996. — № 8. — С. 65–68.
15. Чумаков Н. Я. Некоторые биофизические свойства спермы быков-производителей : Дис... канд.биол.наук / Чумаков Н. Я. — Харьков, 1966. — 207 с.
16. Родштат И. В. Физиологическая концепция взаимодействия миллиметровых радиоволн с организмом человека : Труды Междунар. симп. «Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине.» / Родштат И. В. — Ч. 3. — М. : ИРЭ АН СССР, 1991. — С. 548–553.
17. Родштат И. В. Новые физиологические подходы к оценке КВЧ- воздействия на биологические объекты / Родштат И. В. // *Биомедицинская радиоэлектроника*. — 1998. — № 3. — С. 11–16.
18. Петросян В. И. Люминесцентная трактовка «СПЕ-эффекта» / Петросян В. И., Сеницын Н. И., Елкин В. А. // *Биомедицинские технологии и радиоэлектроника*. — 2002. — № 1. — С. 28–38.
19. Сеницын Н. И. Особая роль системы «миллиметровые волны — водная среда» в природе / Сеницын Н. И., Петросян В. И., Елкин В. А. и др. // *Биомедицинская радиоэлектроника*. — 1998. — № 1. — С. 5–23.
20. Бульенков Н. А. Периодические диспирационно-модульные алмазоподобные структуры связанной «воды» — возможные конструкции, определяющие конформацию биополимеров в структурах их гидратов / Бульенков Н. А. // *Кристаллография*. — 1988. — Т. 33, № 2. — С. 424–444.

21. *Лисиенко В. М.* Альтерация биологических жидкостей при лазеротерапии у хирургических больных : Труды Междунар. симп. «Применение лазеров в хирургии и медицине.» / Лисиенко В. М., Минц Г. И., Скопионов С. А. — М., 1989. — С. 529–530.
22. *Девятков Н. Д.* Физико-химические механизмы биологического действия лазерного излучения / Девятков Н. Д., Зубкова С. М., Лапрун И. Б., Макеева Н. С. // Успехи совр. биол. — 1987. — Т. 103, № 1. — С. 31–43.
23. *Karu T.* Long-term and Short-term Responses of human Lymphocytes to He-Ne Laser Irradiation / Karu T., Smolyaninova N., Zelenin A. // Laser in Life Sci. — 1991. — Vol. 4, № 3. — P. 167–178.
24. *Karu T.* Primary and secondary mechanisms of action of visible and near infra red radiation on cells / Karu T. // J. Photochem. Photobiol. — 1999. — Vol. 49, № 1. — P. 1–17.
25. *Захаров С. Д.* Первичные механизмы воздействия низкоинтенсивного лазерного излучения в биологических системах: слабо поглощающие фотоакцепторы и структурное усиление локального фотовоздействия в биологических жидкостях / Захаров С. Д., Скопионов С. А., Чудновский В. М. // Лазеры и медицина. — М., 1989. — С. 81–82.
26. *Егоров С. Ю.* Фотогенерация синглетного молекулярного кислорода компонентами производного гематопорфирина / Егоров С. Ю., Таубер А. Ю., Красновский А. А., Нижник А. Н., Нокаль А. Ю., Миронов А. Ф. // Бюлл. эксп. биол. мед. — 1989. — Т. 108, № 10. — С. 440–442.
27. *Heugen U.* Solute-induced retardation of water dynamics probed directly by terahertz spectroscopy / Heugen U., Schwaab G., Brundermann E. // PNAS. — Vol. 103. — № 33. — P. 12301–12306.
28. *Ebbinghaus S.* An extended dynamical hydration shell around proteins / Ebbinghaus S., Kim S. J., Heyden M., Yu X., Heugen U., Gruebele M., Leitner D. M., Havenith M. // PNAS. — 2007. — Vol. 104, № 52. — P. 20749–20752.
29. *Masson J. B.* Ionic contrast terahertz near-field imaging of axonal water fluxes / Masson J. B., Sauviat M. P., Martin J. L., Gallot G. // PNAS. — 2006. — Vol. 103, № 13. — P. 4808–4812.

Рецензент: завідувач лабораторії ембріональної біотехнології, кандидат біологічних наук Гевкан І. І.