

# ПРИКЛАДНАЯ РАДИОФИЗИКА

УДК 53.082.9:537.531

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИСКУССТВЕННЫХ ДНК-ПОДОБНЫХ СТРУКТУР В СВЧ-ДИАПАЗОНЕ: ПОЛЯРИЗАЦИОННАЯ СЕЛЕКТИВНОСТЬ ОТРАЖЕНИЯ ВОЛН

И. В. Семченко, С. А. Хахомов, А. П. Балмаков

*Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины  
104, ул. Советская, Гомель, 246019, Беларусь*

E-mail: [isemchenko@gsu.by](mailto:isemchenko@gsu.by), [khakh@gsu.by](mailto:khakh@gsu.by), [balmakov@rambler.ru](mailto:balmakov@rambler.ru)

В связи с асимметрией формы ДНК исследование поляризационных свойств ДНК выбрано нами как одно из первоочередных по важности. Предварительный теоретический расчет показал, что форма ДНК является оптимальной для образования поляризованной по кругу электромагнитной волны при условии резонанса ( $\lambda \sim 10$  нм). Экспериментальное исследование, проведенное нами по принципу электродинамического подобия для металлических ДНК-подобных спиралей в СВЧ-диапазоне длин волн, подтвердило этот вывод. В работе экспериментально подтверждается наличие эффекта поляризационной селективности при двойном отражении СВЧ-волн от ДНК-подобных спиральных элементов в зависимости от их знака (правые и левые спирали). Показано, что циркулярная поляризация волн играет важную роль при взаимодействии искусственных ДНК-подобных структур в СВЧ-диапазоне. Возможно, идентичный эффект имеет место в некоторых процессах с участием ДНК в клетках биологических организмов, но в дальнем ультрафиолетовом либо «мягком» рентгеновском диапазоне. Ил. 7. Библиогр.: 15 назв.

**Ключевые слова:** ДНК, спираль, поляризационная селективность.

Анизотропные и киральные (зеркально-асимметричные) среды изучаются уже много десятков лет. Ученые добились значительных успехов в изучении свойств кристаллов и искусственных композитных материалов. В кристаллооптике накоплен большой арсенал методов для проведения оптических исследований кристаллов, основу которых составляют поляризационные методы. Оптика анизотропных сред теоретически описана достаточно полно. Однако до сих пор мало изучены электромагнитные свойства киральных биологических объектов, что обусловлено многими причинами.

Действительно, воздействие электромагнитных волн на живой организм, его ткани и отдельные клетки столь разнообразно и зависит от множества внутренних факторов, что с трудом поддается простому научному исследованию имеющимися способами. Тем не менее, многие биологические объекты и внутриклеточные структуры являются достаточно упорядоченными и к ним можно применить уже известные методы физики анизотропных и периодических сред.

Кроме того, многие из этих биологических объектов имеют форму спирали (ДНК, РНК, белки, оболочка поверхности нервов и т. д.), т. е. являются киральными. Особенно важные для выживания организма молекулы, такие как ДНК, белки, встречаются в природе только в одной из зеркальных форм (правая, левая спираль), тогда как другие, менее важные, могут существовать в организме одновременно в обеих формах.

В настоящее время есть все основания полагать, что клетки биологических организмов и их отдельные части обмениваются между собой

электромагнитными полями для регулирования различных биологических процессов, например при делении клетки. Однако зарегистрировать и исследовать характеристики этого излучения очень сложно, так как оно обладает очень низкой интенсивностью и, по всей видимости, имеет резонансный характер.

Кроме того, внешние электромагнитные поля, в том числе и искусственно создаваемые человеком, оказывают определенное воздействие на клетки организма и их части. В настоящее время общепринято полагать, что действие электромагнитных полей на биологические организмы основано на их тепловом эффекте. В то же время ряд исследователей показывают, что при некоторых условиях даже низкоинтенсивные электромагнитные волны способны оказывать на биологические объекты существенное действие, приводящее к изменениям в их структуре, функциях и др.

Поэтому важно выявить особенности взаимодействия электромагнитных волн с биологическими спиральными объектами и в первую очередь с ДНК в связи с ее универсальной формой для всех организмов и огромной биологической важностью.

Проведение экспериментальных исследований поляризационных свойств молекулы ДНК требует дорогостоящего оборудования и соответствующих навыков работы. Можно ли узнать поляризационные свойства молекулы ДНК исходя из установленных данных о ее форме, размерах, но не прибегая непосредственно к молекулярным исследованиям?

В первом приближении нам представляется важным провести исследование на моделях ДНК-

подобных спиралевидных структур, например в СВЧ-диапазоне длин волн, по принципу электродинамического подобия. И далее подходить к эксперименту с молекулами ДНК, основываясь на результатах полученных выводов и аналогиях. Именно такая идея реализована в нашей работе.

**1. Теоретическое обоснование.** В статьях [1, 2] нами исследовалась теоретическая модель взаимодействия линейной ДНК с электромагнитными полями в рамках теории дипольного излучения [3, 4].

Как известно, молекула ДНК – это макроскопическая периодическая структура: она состоит из очень большого количества молекул значительно меньшего размера – нуклеотидов. Электромагнитное возбуждение, возникающее в ДНК под действием внешних полей либо вследствие других причин, можно характеризовать силой электрического тока. Этот ток является не током проводимости, а молекулярным током, т. е. обусловлен смещением электронов относительно положения равновесия [5]. По причине периодичности ДНК электрический ток также является периодической функцией.

Отметим, что отдельные нуклеотиды в составе ДНК характеризуются различными поляризуемостями и могут проявлять собственные селективные частотные свойства.

Спиралевидный ток является причиной одновременного возникновения в молекуле электрического дипольного  $\vec{p}$  и магнитного  $\vec{m}$  моментов, связанных между собой.

Нами показано, что в молекуле ДНК при выполнении условия главного резонанса

$$\lambda = P \quad (1)$$

одновременно индуцируется электрический дипольный момент и не менее значимый магнитный момент (здесь  $P$  – длина одного витка спирали, измеренная вдоль спиральной цепочки атомов). Эти моменты дают равные по абсолютной величине вклады в электромагнитное поле, излучаемое молекулой. Указанное обстоятельство приводит к поляризационной селективности взаимодействия молекулы ДНК с электромагнитным излучением.

Известно, что двойная спираль ДНК [6, 7] имеет радиус  $r = 1,0 \cdot 10^{-9}$  м и шаг  $h = 3,4 \cdot 10^{-9}$  м. Геометрические параметры двойной спирали ДНК, измеренные в процессе многих экспериментов, близки к указанным значениям  $r$  и  $h$ .

Следующее выражение было получено ранее для компоненты электрического дипольного момента спирали:

$$p_x = \frac{i}{\omega} \int_{x_1}^{x_2} I(x) dx \quad (2)$$

здесь ось  $x$  направлена вдоль оси спирали;  $x_1$  и  $x_2$  – координаты начала и конца полувитка спирали;  $i$  – мнимая единица.

Мы предполагаем гармоническую зависимость электрического тока  $I$  от времени, выраженную формулой  $e^{-i\omega t}$ , где  $\omega$  – циклическая частота. В дополнение, принимая в расчет геометрические параметры спирали, мы рассчитали  $x$ -компоненту магнитного момента:

$$m_x = \frac{1}{2} r^2 q \int_{x_1}^{x_2} I(x) dx \quad (3)$$

Здесь  $q = \pm 2\pi/h$  – удельное кручение спирали, знаки «+» и «-» соответствуют правой и левой спирали.

Связь между проекциями моментов на ось спирали выражается формулой

$$p_x = \frac{2i}{\omega r^2 q} m_x \quad (4)$$

Это соотношение универсальное, так как не зависит от распределения электрического тока вдоль спирали  $I(x)$  и остается справедливым при любой последовательности азотистых оснований в ДНК. Компоненты моментов вдоль оси спирали играют главную роль при излучении циркулярно поляризованной волны в направлении, перпендикулярном оси спирали.

В работе [1] рассмотрен некоторый спиральный осциллятор с произвольным распределением электрического тока и получено условие, при котором спираль излучает поляризованную по кругу электромагнитную волну в направлении, ортогональном оси спирали

$$|p_x| = \frac{1}{c} |m_x| \quad (5)$$

где  $c$  – скорость света в вакууме.

Принимая в расчет соотношение между геометрическими параметрами спирали

$$P \cos \alpha = 2\pi r, \quad (6)$$

а также условие главного резонанса (1), мы получаем следующее тригонометрическое уравнение для спирали с углом подъема  $\alpha$ :

$$\sin^2 \alpha + 2 \sin \alpha - 1 = 0. \quad (7)$$

Выбирая положительный корень квадратного уравнения (7), мы можем найти оптимальный угол подъема спирали для произвольного количества ее витков  $\alpha_{\text{опт}} = 24,5^\circ$ .

Полученное теоретическое значение оптимального угла подъема приблизительно на 15 % отличается от угла подъема  $\alpha_{\text{ксп}} = 28,4^\circ$ , соответствующего приведенным выше экспериментальным данным для радиуса  $r$  и шага спирали  $h$ .

Оптимальная форма спирали предполагает, что при любом электрическом токе в спирали образуются равнозначные друг другу электрический дипольный и магнитный моменты, направленные вдоль оси спирали. Такая оптимальная спираль активируется значительно сильнее цир-

кулярно поляризованной волной, которая распространяется перпендикулярно оси спирали. При этом знак поляризации сильно воздействующей электромагнитной волны противоположен знаку спирали. Следовательно, для правой спирали ДНК воздействующая на нее циркулярно поляризованная волна образует в пространстве левый винт. Для циркулярно поляризованной волны другого знака оптимальная спираль совершенно прозрачна. Это свойство поляризационной селективности играет важную роль также при излучении электромагнитных волн спиралью.

ДНК-подобные спирали обладают оптимальными свойствами при активации их как электрическим, так и магнитным полем, т. е. при любой ориентации плоскости поляризации падающей волны.

В дипольном приближении напряженность электрического поля излучаемой волны имеет вид

$$\vec{E}(\vec{R}, t) = \frac{\mu_0}{4\pi R} \left( \left[ \left[ \ddot{\vec{p}} \right] \times \vec{n} \right] + \frac{1}{c} \left[ \ddot{\vec{m}} \right] \right), \quad (8)$$

где  $\vec{R}$  – радиус-вектор, проведенный от рассматриваемого полувитка спирали в точку наблюдения;  $\vec{n}$  – единичный вектор, совпадающий по направлению с  $\vec{R}$ ;  $\mu_0$  – магнитная постоянная; точки над векторами означают дифференцирование по времени.

В соотношении (11) производные электрического дипольного и магнитного моментов вычисляются в предшествующий момент времени с учетом запаздывания волн, приходящих от источника в точку наблюдения.

Нами было показано, что ортогональные компоненты вектора напряженности поля излученной волны связаны между собой соотношением

$$E_x = -iE_y. \quad (9)$$

Таким образом, можно сделать вывод, что в условиях резонанса ДНК излучает левоциркулярную электромагнитную волну в направлении, перпендикулярном оси спирали. Такая поляризация излучаемой волны остается неизменной при произвольном распределении электрического тока в ДНК, т. е. при любой последовательности азотистых оснований в ДНК.

Эллиптичность волны, излучаемой активированным участком ДНК перпендикулярно оси спирали (в направлении оси Oz), можно вычислить следующим образом:

$$\gamma = -i \frac{E_y}{E_x}. \quad (10)$$

Эллиптичность очень близка к +1, т. е. излучаемая волна имеет круговую поляризацию, и вектор напряженности электрического поля образует в пространстве левый винт.

**2. Экспериментальная проверка.** Экспериментальным путем нами исследуется электромагнитная волна СВЧ-диапазона, отраженная двумерными решетками, состоящими из спиральных проводников. Каждый спиральный элемент имеет геометрические параметры, подобные молекуле ДНК. Исследуется эллиптичность отраженной электромагнитной волны в зависимости от частоты вблизи главного резонанса. На основании принципа электродинамического подобия экспериментально подтверждается результат, полученный ранее теоретически.

В статье представлены экспериментальные результаты исследований поляризационной селективности волн, отраженных решетками, состоящими из правых и левых ДНК-подобных спиралей в СВЧ-диапазоне. Параметры спиралей были выбраны в соответствии с предсказаниями теории с целью получения отраженных волн высокой эллиптичности.

Для усиления сигнала были изготовлены решетки из медных спиралей, закрепленных на радиопрозрачном материале (рис. 1). Каждый образец состоял из идентичных спиралей одного знака (правых или левых).

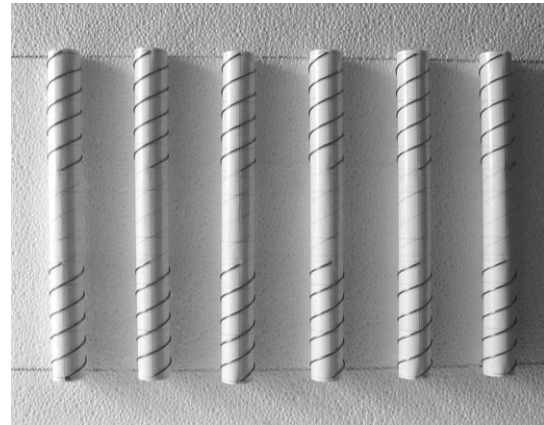


Рис. 1. Фото опытного образца двойных правых ДНК-подобных спиралей

В нашем эксперименте спирали активируются плоской падающей волной, т. е. каждая спираль находится в однородном поле. Поэтому в центре каждой спирали, где влияние ее краев является самым слабым, должна иметь место пучность стоячей волны электрического тока. На краях спирали сила тока обращается в нуль, поэтому полная длина спирали должна быть кратна половине длины волны электромагнитного поля

$$L = k \frac{\lambda}{2}. \quad (11)$$

Максимальное значение тока (пучность) в центре спирали может иметь место только для спирали, состоящей из нечетного числа полувитков.

Это значит, что  $k = 2m + 1$ , где  $m$  – целое число. Если спираль содержит целое число витков, то электрический ток в ней не может быть создан однородным полем падающей плоской волны.

Первая решетка возбуждалась линейно-поляризованной волной, падающей на образец под углом  $45^\circ$  к его плоскости (рис. 2). Здесь 1 – генератор СВЧ-сигнала; 2, 8 – рупорные антенны; 3, 5, 7 – направление распространения волн; 4, 6 – образцы ДНК-подобных спиралей; 9 – приемник СВЧ-сигнала.

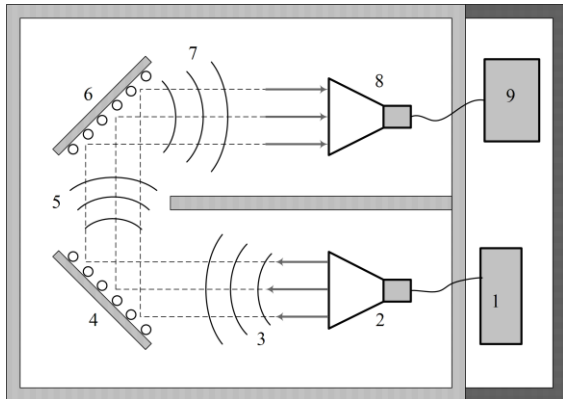


Рис. 2. Схема эксперимента в безэховой камере

Отраженная от первой решетки волна была близка к циркулярно поляризованной в исследуемом нами диапазоне длин волн и далее падала на вторую решетку (рис. 3).

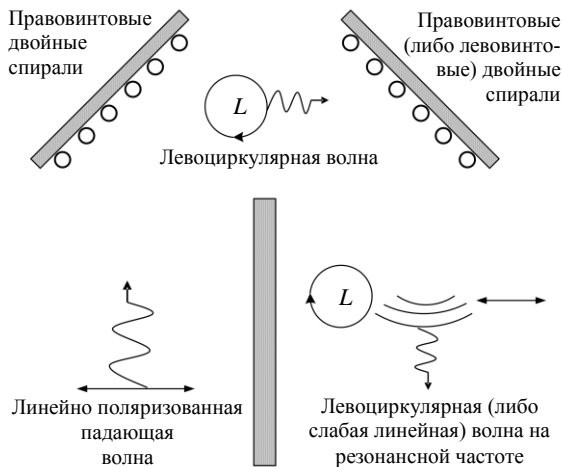


Рис. 3. Схематически показан процесс преобразования электромагнитной волны пре ее отражении от образцов ДНК-подобных правых и левых спиралей

Волна, отраженная от второй решетки, была циркулярно поляризована влево (вектор напряженности поля описывает в пространстве левый винт), если спирали обеих решеток были правыми, и линейно поляризованной, если спирали первой решетки были правыми, а спирали вто-

рой решетки – левыми. Во втором случае интенсивность волны, испытавшей двойное отражение от решеток, была значительно меньшей.

Графики зависимости эллиптичности отраженных волн от частоты можно увидеть на рис. 4 для случая правых спиралей на обоих образцах (эффект поляризационной селективности излучения на частоте 2,8 ГГц). Рис. 5 соответствует случаю правых спиралей на первом образце и левых спиралей на втором образце (отсутствие эффекта поляризационной селективности излучения).

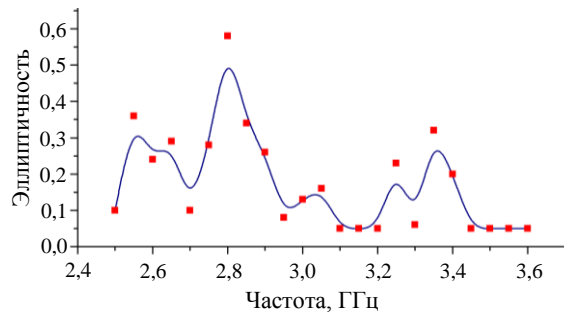


Рис. 4. График зависимости эллиптичности отраженной волны от частоты, когда образцы состоят из правых спиралей

Вектор напряженности электрического поля падающей линейно поляризованной волны направлен перпендикулярно осям спиралей. Рассматривались также случаи, когда вектор был направлен вдоль осей спиралей. Графики зависимостей эллиптичности от частоты для этих случаев оказались сходными с указанными на рис. 4 и 5.

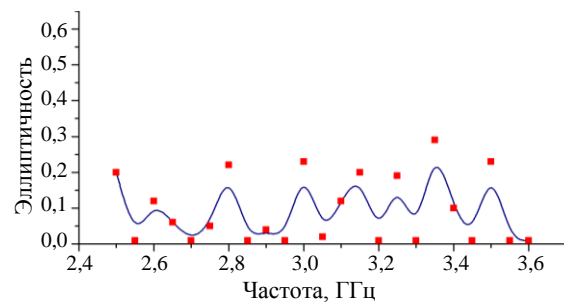


Рис. 5. График зависимости эллиптичности отраженной волны от частоты, когда первый образец состоит из правых спиралей, а второй – из левых

Кроме того, исследовалась зависимость интенсивности электромагнитной волны, отраженной от второго образца, от частоты. Графики зависимости приведены на рис. 6 для случая правых спиралей на обоих образцах и на рис. 7 для случая правых спиралей на первом образце и левых – на втором.

Эффект поляризационной селективности излучения еще более четко проявился для интенсивности волны, отраженной от образцов с правыми спиралями на той же частоте 2,8 ГГц,

которой соответствовал максимум эллиптичности. В то же время для образцов, образованных спиралью противоположного знака, максимальная интенсивность волны после двойного отражения уменьшилась приблизительно в два раза на частоте, близкой к 2,8 ГГц.

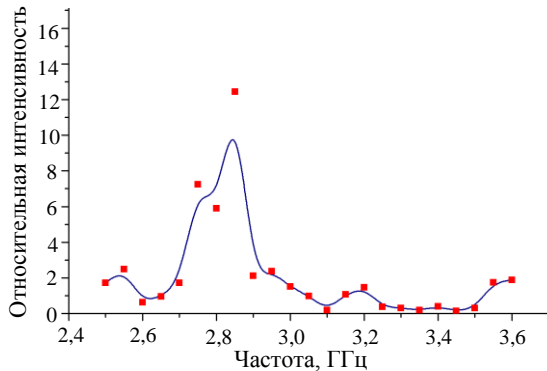


Рис. 6. График зависимости относительной интенсивности отраженной волны от частоты, когда образцы состоят из правых спиралей

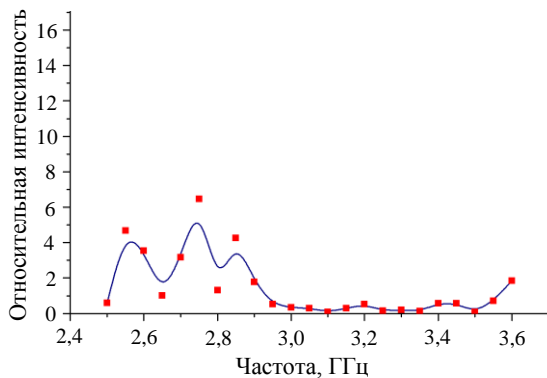


Рис. 7. График зависимости относительной интенсивности отраженной волны от частоты, когда первый образец состоит из правых спиралей, а второй – из левых

Нами также исследовалась зависимость эллиптичности отраженной волны от плотности спиралей на образце. Мы уменьшали количество спиралей на образце, удаляя каждый второй ряд. При этом оказалось, что график эллиптичности отраженной волны оставался неизменным, уменьшалась только интенсивность сигнала. Таким образом, регистрируемая волна, отраженная решеткой в целом, позволяет судить об эллиптичности волны, излучаемой отдельной двойной спиралью. Этот вывод обусловлен тем обстоятельством, что в нашем эксперименте волны, излучаемые отдельными спиралью, согласованы по фазе.

**3. Результаты эксперимента применительно к ДНК-подобным спиралью.** В статье нами представлены экспериментальные данные, подтверждающие теоретические исследования поляризационной селективности взаимодействия

электромагнитного излучения с ДНК-подобными структурами.

Предварительные результаты экспериментальных исследований были частично представлены на конференциях [8–13].

Говоря о поляризационной селективности спиральных объектов, подобных ДНК, мы подразумеваем необходимость двойной спирали и оптимального угла подъема спирали. Как было частично показано в работе [10], при отражении от одинарных ДНК-подобных спиралей электромагнитная волна имеет линейную поляризацию вне зависимости от типа поляризации падающей волны.

При этом плотность спиралей на образце не имеет существенного значения, эффект проявляется и при одной спирали. Распределение токов в каждой спирали может иметь совершенно произвольный вид, так как соотношение (4) не зависит от распределения тока.

**Выводы.** Согласно принципу электродинамического подобия эффект поляризационной селективности, наблюдаемый в СВЧ-диапазоне для ДНК-подобных спиралей, может иметь место для молекулы ДНК в нанометровом диапазоне.

Этот эффект является одним из определяющих для ДНК (возможно, и для других спиральных объектов) и напрямую связан с нарушением зеркальной симметрии в природных структурах и явлениях. Поляризационная селективность электромагнитного взаимодействия может быть важна при генетическом сохранении различий между правосторонними и левосторонними формами объектов живой природы.

Обладая оптимальной геометрической формой, молекула ДНК не подвержена воздействию правой циркулярно поляризованной электромагнитной волны в нанометровом диапазоне. Такая волна, для которой правосторонняя молекула ДНК является «прозрачной», должна распространяться перпендикулярно оси спирали и образовывать в пространстве правый винт. Соответственно, волна, излучаемая правосторонней молекулой ДНК перпендикулярно оси спирали при условии резонанса, имеет левую циркулярную поляризацию. Эти особенности могут быть использованы при создании ДНК-подобных метаматериалов с селективными поляризационными свойствами.

В последние годы значительно возрос интерес к созданию искусственных двумерных и трехмерных структур непосредственно из молекул ДНК. В работе [14] показана возможность создавать из участков ДНК объемные наноструктуры в виде решеток, кубов, октаэдров и других фигур.

В обзорной работе [15] сообщается о появлении композитных наноматериалов с использованием ДНК, в частности, говорится о присоединении нанометровых частиц золота к участку ДНК по принципу комплементарности. Там же говорит-

ся о работах по палладиевой металлизации молекул ДНК, вставке в азотистые основания цинка, кобальта или никеля, что ведет к повышению токопроводимости таких участков ДНК. Таким образом, перспективным выглядит применение участков ДНК в качестве молекулярной нанопроволоки. Следует ожидать, что для таких структур селективные поляризационные свойства могут проявляться наиболее значительно в «мягком» рентгеновском и ультрафиолетовом диапазоне.

Авторы выражают благодарность В. А. Добрянину за техническую помощь в изготовлении шаблонов спиральных излучателей.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, проект № Ф08МС–050.

1. Семченко И. В., Хахомов С. А., Балмаков А. П. Поляризационная селективность электромагнитного излучения ДНК // Радиотехника и электрон. – 2007. – 52, № 9. – С. 1078–1083.
2. Семченко И. В., Хахомов С. А., Самофалов А. Л. Преобразование поляризации электромагнитных волн спиральными излучателями // Радиотехника и электрон. – 2007. – 52, № 8. – С. 850–855.
3. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля. – М.: Наука, 1973. – 504 с.
4. Semchenko I. V., Khakhomov S. A., Samofalov A. L. Polarization plane rotation of electromagnetic waves by the artificial periodic structure with one-turn helical elements // Electromagnetics. – 2006. – 26, no. 3–4. – С. 219.
5. Kauzmann W. Quantum chemistry. An introduction. – New York.: Academic Press, 1957. – 744 p.
6. Watson J. D., Crick F. H. C. Molecular structure of nucleic acids: A structure for deoxyribose nucleic acid // Nature. – 1953. – No. 171. – P. 737.
7. <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=DNA&oldid=56282939>.
8. Semchenko I. V., Khakhomov S. A., Balmakov A. P. Polarization selectivity of electromagnetic radiation of DNA // Proc. Bianisotropics.– Helsinki Univ. of Technology, Report 478, 2006. – P. 45.
9. Семченко И. В., Балмаков А. П. Киральные свойства молекулы ДНК и поляризационная селективность ее электромагнитного излучения // Изв. Гомельск. госун-та. – 2006. – 6, № 39. – Ч. 1. – С. 136–139.
10. Semchenko I. V., Khakhomov S. A., Balmakov A. P. Electromagnetic model of DNA: observation of polarization selectivity of radiation. // Proc. 6th Inter-Academia. – Hamamatsu, Japan, 2007. – P. 136–145.
11. Semchenko I. V., Khakhomov S. A., Balmakov A. P. Electromagnetic model of DNA: observation of polarization selectivity of radiation. // Proc. of Metamaterials'2007. – Rome, 2007. – P. 711–714.
12. Balmakov A. P., Semchenko I. V. DNA-like Metamaterials: Observation of Polarization Selectivity of Electromagnetic Properties // Proc. of Metamaterials'2008 – Pamplona (Spain), 2008.
13. Балмаков А. П., Семченко И. В. Поляризация электромагнитных волн массивом ДНК-подобных спиральных проводников // VIII Конф. молодых ученых «Радиофизика и электроника, биофизика»: Тез. докл. – Харьков, 2008. – С. 70.

14. Seeman N. C. Nanotechnology and the Double Helix // Scientific American Reports. – 2007. – No. 9. – P. 30–39.
15. Чермис А. В., Вахитов В. А. Новая старая ДНК. – Уфа: Ин-т биохимии и генетики Уфимского научного центра РАН, 2002. – С. 53–57.

## INTERACTION OF ARTIFICIAL DNA-LIKE STRUCTURES IN MICROWAVE BAND: THE POLARIZATION SELECTIVITY OF WAVE RADIATION

I. V. Semchenko, S. A. Khakhomov, A. P. Balmakov

Research on polarization properties of DNA is chosen by us as the one of paramount importance due to the asymmetry of the DNA form. The preliminary theoretical calculation has shown that the DNA form is optimum for formation of a circular electromagnetic wave under the resonance condition ( $\lambda \sim 10$  nm). This conclusion has been proved for the metal DNA-like helices in a microwave range in accordance with the principle of scaling. In the given work it is experimentally confirmed the presence of the effect of polarization selectivity when microwave waves have double reflection from DNA-like helical elements depending on their sign (the right and left helices). It is shown that the circular polarization of waves plays an important role at interaction of microwave waves reflected from the artificial DNA-like structures. Probably, the identical effect takes place in some processes that involve DNA in biological organisms cells, but in far ultraviolet radiation that is close to the X-ray range.

**Key words:** DNA, helix, polarization selectivity.

## ВЗАЄМОДІЯ ШТУЧНИХ ДНК-ПОДІБНИХ СТРУКТУР В НВЧ-ДІАПАЗОНІ: ПОЛЯРИЗАЦІЙНА СЕЛЕКТИВНІСТЬ ВІДБИТТЯ ХВИЛЬ

I. В. Семченко, С. А. Хахомов, О. П. Балмаков

У зв'язку з асиметрією форми ДНК дослідження поляризаційних властивостей ДНК обрано нами як одне з першорядних по значимості. Попередній теоретичний розрахунок довів, що форма ДНК є оптимальною, для утворення поляризованої по полю електромагнітної хвилі за умови резонансу ( $\lambda \sim 10$  нм). Експериментальне дослідження, проведене нами за принципом електродинамічної подібності для металічних ДНК-подібних спіралей в НВЧ-діапазоні довжин хвиль, підтвердили цей висновок. У роботі експериментально підтверджується наявність ефекту поляризаційної селективності при подвійному відбитті НВЧ-хвиль від ДНК-подібних спіральних елементів у залежності від їх знака (праві та ліві спіралі). Показано, що циркулярна поляризація хвиль відіграє важливу роль при взаємодії штучних ДНК-подібних структур в НВЧ-діапазоні. Можливо, ідентичний ефект має місце в деяких процесах за участю ДНК у клітинах біологічних організмів, але в дальньому ультрафіолетовому чи «м'якому» рентгеновському діапазоні.

**Ключові слова:** ДНК, спіраль, поляризаційна селективність.

Рукопись поступила 20 января 2009 г.