

# On the DNA resonance code

Savelev I.V., Zyryanova N.V., Guschin V.V., Tovmash A.V., Serdyukov D.S., Kupriyanov K.A., Myakishev-Rempel M.V.

**(in Russian)**

Submitted to Space and Time Journal on Nov 19, 2019.

The possible role of DNA sequence-dependent electromagnetic resonance in the formation of the morphogenic field is discussed. It is hypothesized that the basis of the morphogenic field is the resonant oscillations of clouds of delocalized electrons and protons in the stack of DNA bases, and that genomic repeats serve as universal resonators that provide two-way transfer of information between chromatin structures and the morphogenic field. The proposed algorithm for the resonant transformation of genomic information into the structure of the organism mediated by the morphogenic field is named "the DNA resonance code", and approaches to its decoding based on a combination of biophysics, spectroscopy, and experimental and computational genomics are proposed.

## О резонансном коде ДНК

Савельев И.В.,

\*Зырянова Н.В.,

\*Гущин В.В.,

\*Товмаш А.В.,

\*Сердюков Д.С.,

\*Куприянов К.А.,

\*Мякишев-Ремпель М.В.

### **Аннотация**

Обсуждается возможная роль электромагнитных резонансов, зависящих от последовательности ДНК, в формировании морфогенного поля. Выдвигаются гипотезы, что основой морфогенного поля являются резонансные колебания облаков делокализованных электронов и протонов в стопке оснований ДНК, и что геномные повторы служат универсальными резонаторами, обеспечивающими двусторонний перенос информации между структурами хроматина и морфогенным полем. Предполагаемый алгоритм резонансного преобразования геномной информации в структуру организма опосредованного морфогенным полем, назван резонансным кодом ДНК, и предложены подходы к его расшифровке, основанные на сочетании методов биофизики, спектроскопии и экспериментальной и вычислительной геномики.

### **Ключевые слова:**

биофизика, резонанс, хроматин, ДНК, морфогенное поле, геномика

### **ВВЕДЕНИЕ**

На настоящее время механизмы нехимической коммуникации между клетками и организмами изучены крайне мало. Среди экспериментов, подтверждающих существование такой коммуникации, в научной литературе, нам кажутся наиболее убедительными те, где передача сигнала между образцами клеточных культур исследовалась в кварцевых кюветах, разделенных оптическими фильтрами [Cifra, 2011; Scholkmann, 2013; Trushin, 2004; Xu, 2017]. Там было показано, что при воздействии на одну аликвоту культуры вторая аликвота получает некий нехимический сигнал, который можно заблокировать светонепроницаемым фильтром. Такие сигналы часто объединяются термином «нехимической межклеточной коммуникации» [Cifra, 2011; Scholkmann, 2013; Trushin, 2004; Xu, 2017]. Вначале изучалась передача сигнала между образцами культур клеток в чашках Петри из полистирола [Rossi, 2011; Farhadi, 2007] и между корнями растений, разделенными воздухом [Ciszak, 2012].

Самыми простыми и надежными нам кажутся эксперименты Бурлакова А.Б. [Burlakov, 2000; Belousov, 2003; Burlakov, 2000; Бурлаков, 2015; Бурлаков, 1999; Бурлаков, 2012; Бурлаков, 2017; Бурлаков, 2002; Бурлаков, 2010; Бурлаков, 2009; Бурлаков, 2006], продолжателя научного направления Александра Гурвича. Бурлаков с сотрудниками в каждую из двух кварцевых кювет, расположенных горизонтально друг над другом, помещали по 50 эмбрионов рыб и инкубировали их в течение нескольких дней в металлической коробке. Ими обнаружено, что старшие эмбрионы ингибируют развитие младших через кварцевое стекло. Германиевое зеркало, положенное на кювету, ускоряло развитие эмбрионов, а кварцевый уголковый светоотражатель подавлял рост и провоцировал видимые нарушения формы малька [Burlakov, 2000].

## **ИСТОРИЯ ВОПРОСА**

Александр Гаврилович Гурвич (1874-1954) начал изучать нехимические взаимные воздействия между биологическими объектами 96 лет назад. В 1922 году он выдвинул постулат о существовании морфогенного поля [Gurwitsch, 1922], определяющего структуру организма, экспериментально доказал существование такого поля [Gurwitsch, 1923; Gurwitsch, 1924; Alexander, 1925; Belousov, 2004; Michael Lipkind, 1998; M. Lipkind, 1998] и охарактеризовал его спектральные свойства [[CSL STYLE ERROR: reference with no printed form.]]. Исследования А.А. Гурвича прошли длительную и разностороннюю проверку в рамках Всесоюзного Института экспериментальной медицины (ВИЭМ), где в 1934 г. ему была предоставлена возможность сформировать собственный отдел; с 1945 по 1948 год возглавлял Институт биологии развития. Результаты его работы воспроизвели Анна Гурвич [Гурвич, 1968; Гурвич, 1991], А.Б. Бурлаков [Burlakov, 2000] и более 100 других исследователей (см. обзоры [Quickenden, 1974; Volodyaev, 2015]). Вышеописанные эксперименты Бурлакова с уголковыми светоотражателями демонстрирующие видимые аномалии формы мальков, на наш взгляд - наиболее убедительное подтверждение морфогенной функции биополя [Бурков, 2008; Бурлаков].

Последователи А.Г. Гурвича, в частности, его аспирант и директор Института биофизики СССР, Глеб Михайлович Франк, уже после его смерти развили ряд идей и концепций ученого, в частности идею об излучении в ультрафиолетовом диапазоне [33]; другой последователь Гурвича - А.А. Любищев - развил идеи о понимании биосферы как единого организма [Любищев, 1982]. В своих изысканиях на соответствующую тему китайский исследователь Гильберт Линг [Ling, 1992] опроверг распространенную мембранную теорию клетки и выдвинул собственное объяснение, основанное на когерентности [Ling, 1965].

Идея о голографической природе морфогенного поля и ключевой роли геномной ДНК в его создании впервые была предложена Ричардом Миллером и Бертом Веббом в 1973 году [Miller, 2012]. Константин Мейл [Meul] предположил, что биологические электромагнитные волны, создаваемые ДНК, имеют необычную структуру волны, и что эта структура волны, позволяет им без существенных потерь передавать информацию в тканях. Не менее оригинальными можно назвать изыскания совместного исследования А.Г. Гурвича, Александра

Михайловича Кузина, выдвинувшего концепцию вторичного биогенного излучения [Кузин, 1999], которая касается получения геномом информации и влияния этой информации на процессы конденсации и деконденсации хроматина, химические реакции в хроматине, превращающие информацию в виде волн в химическую структуру [Кузин, 1999].

Несмотря на то, что основные идеи относительно роли ДНК в процессе морфогенеза были выдвинуты еще Гурвичем и впоследствии были развиты Миллером, Бурлаковым, Мейлом и другими исследователями, механизм действия морфогенного поля пока не установлен. В этой статье мы предлагаем экспериментальные подходы для обнаружения этого механизма.

Мы предполагаем, что специфические последовательности ДНК и ДНК-белковые хроматиновые комплексы, имеющие похожие волновые характеристики, резонируют, и это позволяет им колебательно синхронизироваться и передавать таким образом биологически важную информацию от одного участка ДНК к другому. Введем определение. Мы определяем «резонансные взаимодействия в ДНК» как волновые взаимодействия между идентичными последовательностями ДНК или не совсем идентичными, но имеющими похожие колебательные свойства.

Насколько нам известно, до сих пор никто не пытался расшифровать алгоритм, по которому специфические волны создаются различными последовательностями ДНК. Здесь мы будем называть этот алгоритм «резонансным кодом ДНК» и будем подразумевать под этим алгоритмом принцип формирования на базе последовательности ДНК определенной структуры морфогенного поля, определяющей, в конечном счете, структуру организма.

Большая часть генома химически пассивна, она считается «мусорной ДНК», хотя у этой «мусорной ДНК» наблюдаются явные признаки выполнения какой-то функции: доля консервативных последовательностей в транскрибируемой и не транскрибируемой частях генома у представителей разных биологических видов примерно одинакова [Lander, 2001]. Мы предполагаем, что транскрибируемые и нетранскрибируемые части генома участвуют в важной работе по созданию и поддержанию структуры организма, органов и тканей и руководят биохимической фабрикой клетки путем эпигенетических модификаций и конденсации-деконденсации хроматина.

Периодичность двойной спирали ДНК вдохновила многих исследователей на моделирование механических колебаний в ДНК [Scott, 1985; Volkov, 1987]. Под механическими колебаниями мы подразумеваем колебания средне-крупных частей ДНК, крупнее одного нуклеотида. Так как ДНК сильно заряжена, связана с водой и белками (хроматина и факторов транскрипции), ДНК вероятно колеблется вместе с ними и механические колебания ДНК вероятно быстро затухают.

Мы полагаем, что в отличие от механических колебаний, облака делокализованных пи-электронов в стопках оснований и облака делокализованных протонов водородных связей ДНК - это гораздо лучшая среда для незатухающих колебаний в ДНК. Вдобавок, известно, что облака электронов в стопке оснований объединены на расстояниях более множества нуклеотидов, и соответственно, колебания этих облаков должны зависеть от последовательности ДНК. Также мы предполагаем, что протоны водородных связей в стопке оснований также могли бы образовывать вертикальные облака распространяющиеся на множество нуклеотидов и соответственно их колебания также будет зависеть от последовательности ДНК.

Мы предположили [Polesskaya, 2018; Guschin, 2018], что такие колебания электронных и протонных облаков стопок оснований ДНК ответственны за резонанс в молекулах ДНК и за морфогенное поле. Поскольку стопки оснований внутри двойной спирали гидрофобны, «сердцевина» ДНК отделена от воды, белков и других молекул, а что делает стопку оснований в ДНК по сути изолированным проводником и линейным кристаллом, который должен колебаться без большого рассеяния энергии.

## О КОЛЕБАНИЯХ В ОБЛАКАХ ДЕЛОКАЛИЗОВАННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

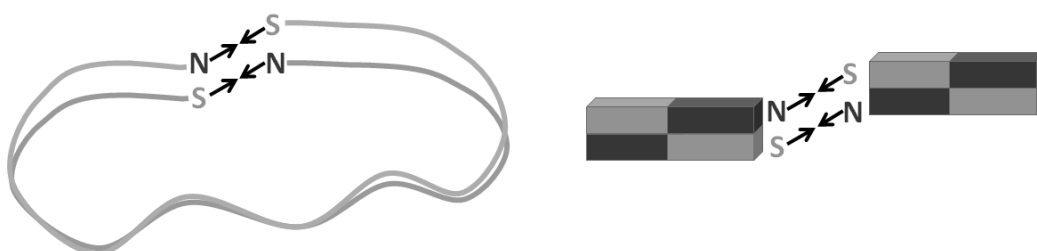
Исследователи электропроводности ДНК обнаружили, что стопки оснований ДНК хорошо проводят электрический ток, обладают свойствами полупроводников и способны переносить “дырки” и электроны [Arnold, 2016]. Уникальные свойства электронных облаков стопок оснований обусловлены ароматическими свойствами оснований ДНК. Поскольку нуклеотидные основания гидрофобны, в водном окружении они сближаются. В то же время заряженные фосфаты остова ДНК отталкиваются друг от друга, вытягивая ДНК в линию. Такое сочетание сил отталкивания формирует упорядоченную двойную спираль и упорядоченную стопку оснований внутри нее. Пи-электроны в стопках оснований двояким образом формируют коллективное облако. Во-первых, они “отвязываются” от конкретных атомов углерода и азота ароматических колец. Во-вторых, пространственная организация двойной спирали приводит к тому, что ароматические кольца, расположенные друг другом, перекрываются, образуя периодическую структуру. Мы полагаем, что периодичность перекрывания делает возможными колебания делокализованных электронов в этих структурах.

Важно также, что положение электронов в стопках оснований является делокализованным в соответствии с принципом неопределенности Гейзенберга. Это явление в химии обозначается термином “химический резонанс”. До тех пор, пока электрон не свяжется с неароматической молекулой, его местоположение остается делокализованным, и он может считаться распределенным по длине молекулы ДНК [Miller, 1975],[Pullman, 1963]. Важность сопряжения пи-электронов в ароматических основаниях и аминокислотах отмечал Стюарт Хамерофф, выявивший корреляцию между ароматическими свойствами анестетиков и их эффективностью и связавший это явление с передачей сигнала по микротрубочкам [Hameroff, 2014].

В отличие от электронов, делокализация протонов в ДНК не доказана, но есть упоминания о “протонной проводимости” или “протонных магистралах” в белковых растворах [Wraight, 2006], то есть эта тема тоже развивается, и вероятно ДНК также обладает делокализованными протонами в стопке оснований.

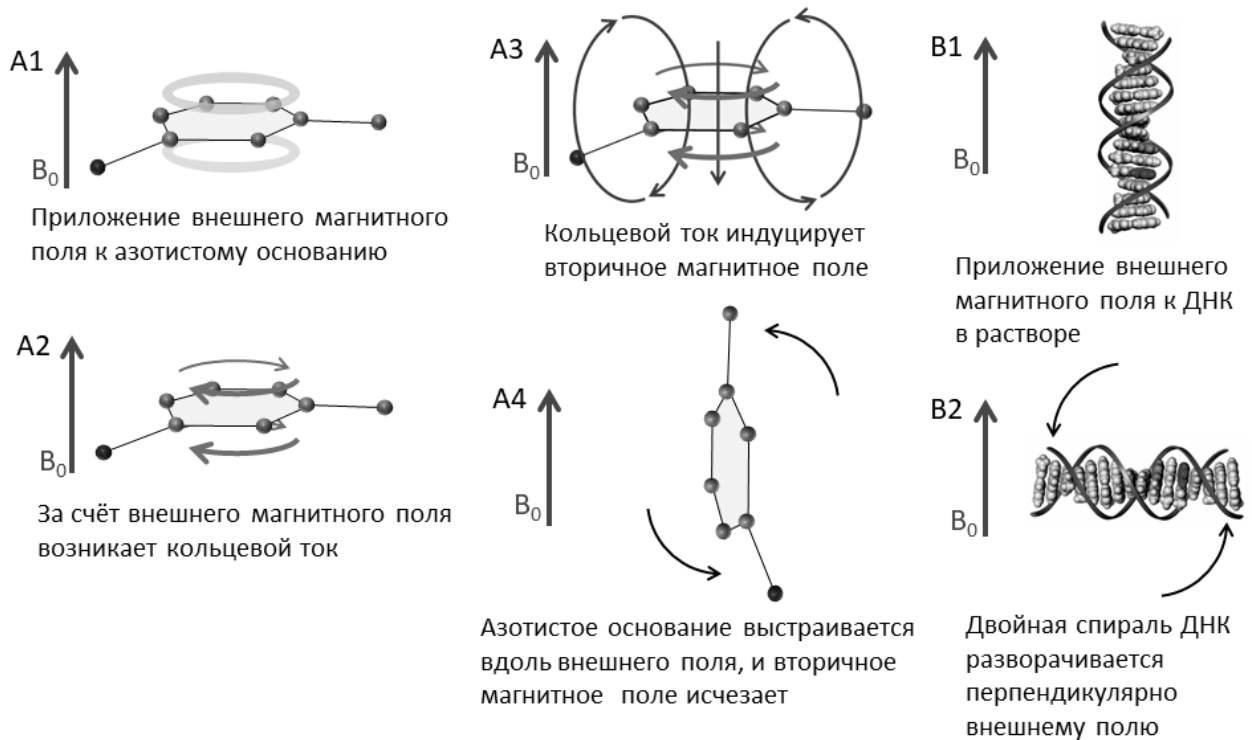
## О ВОЗМОЖНОЙ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ РОЛИ КОЛЬЦЕВЫХ ТОКОВ В ОСНОВАНИЯХ

Идея магнитных свойств ДНК впервые была сформулирована в экспериментальных работах Льва Блюменфельда в 1959 г. [Блюменфельд, 1959]. Спор о магнитных характеристиках ДНК продолжается по сей день [Khomutov, 2004; Blois, 1963; Snipes, 1964; Muller, 1961; Kwon, 2009; WALSH jun., 1961; Shulman, 1961; Kwon, 2008; Kwon, 2012; Lee, 2011]. Эксперименты проводятся в сильных магнитных полях с использованием очищенной ДНК. Мы предлагаем рассмотреть магнитные свойства молекулы ДНК под другим углом. Мы заметили [Guschin, 2018], что две цепи ДНК ведут себя в биологических реакциях типа лигирования, транскрипции, репликации и образования “шпилек” подобно парам антипараллельных магнитов, Рис. 1. Например, при лигировании плазмидного вектора тупые концы соединяются с высокой специфичностью. Обычно такую специфичность связывают с эффективностью фермента лигазы, но мы предполагаем, что даже в отсутствие лигазы концы ДНК могут притягиваться друг к другу в виде пар антипараллельных магнитов, Рис. 1.



**Рис. 1. Гипотеза, что природная двухцепочечная ДНК может быть намагничена антипараллельно и что тупые концы могут притягиваться друг к другу за счет магнитного взаимодействия.**

Заметим, что наша гипотеза об антипараллельно намагниченных нитях ДНК базируется не на прямых наблюдениях, а на высокой специфичности ДНК в ферментативных реакциях. Каким образом цепочки ДНК могут намагничиваться? По результатам многочисленных работ с применением метода ядерного магнитного резонанса (ЯМР) рядом авторов была предложена гипотеза о том, что немаловажную роль в появлении у ДНК магнитных свойств [Kwon, 2012] играют кольцевые токи [Webb, 2000; Guelev, 2001; Dogra, 2014; Peters, 1995; Lown, 1985; Brandes, 1988]. Известно, что в сильном магнитном поле в любых ароматических молекулах возникают кольцевые токи, которые, в свою очередь, индуцируют вторичное магнитное поле, направленное поперек первичного. Это вторичное поле уменьшает экранирование соседних протонов, что видно по сдвигам соответствующих пиков в ЯМР [Wikipedia contributors, 2018; Fowler, 2007]. Метод ЯМР обычно применяется при исследованиях твердых веществ. В растворах ароматические кольца поворачиваются вдоль линий исходного поля, кольцевые токи при этом не индуцируются, рис. 2. [A1-A4] [A. Hill, 2007; Sankarampadi Aravamudhan, 2015]. Молекула ДНК также поворачивается перпендикулярно внешнему магнитному полю, рис. 2. B1-B2 [Van Winkle, 1997; Vavrinská, 2016; Zhang, 2017].

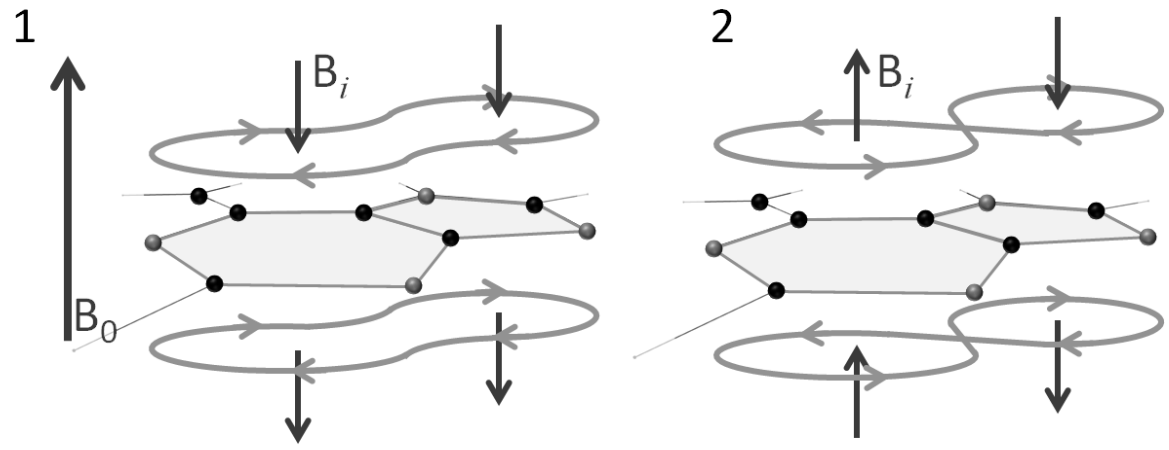


**Рис. 2. Кольцевые токи в ДНК. A1-A3. Приложенное магнитное поле индуцирует вторичное магнитное поле в азотистом основании. A3-A4. Если основание находится в растворе, оно поворачивается вдоль линий приложенного магнитного поля. B1-B2. Если ДНК находится в растворе, она поворачивается перпендикулярно к приложенному магнитному полю.**

Мы предположили [Guschin, 2018], что в отсутствие сильного магнитного поля в клетке появление кольцевых токов может быть опосредовано ферментами, использующими энергию АТФ. В частности, мы заметили, что многие связанные с ДНК белки содержат серу и железо [Fuss, 2015]. Мы полагаем [Guschin, 2018], что железосерные кластеры этих белков участвуют в намагничивании определенных последовательностей и в создании статических и динамических магнитных полей в ДНК. Это предположение согласуется с идеями Блюменфельда о том, что

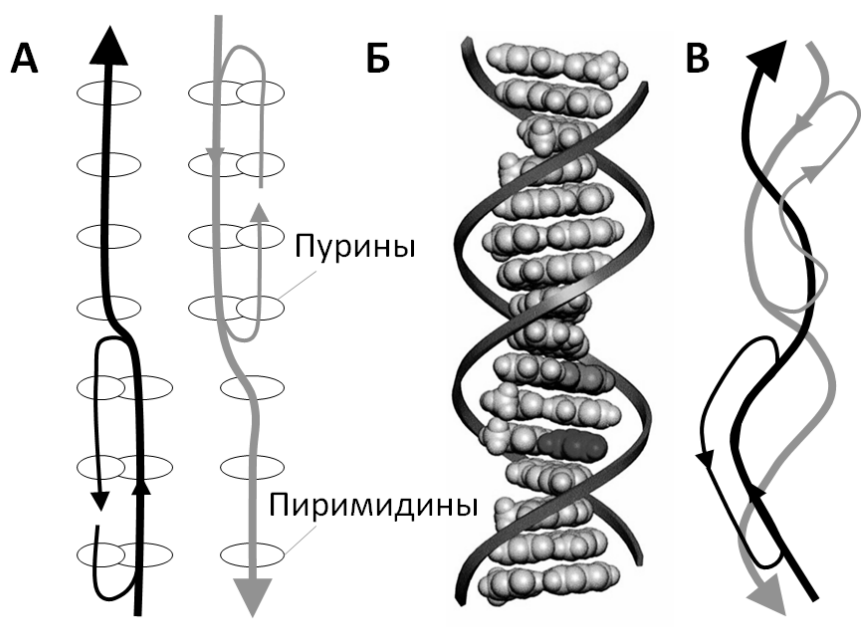
ДНК может работать как “магнитная лента” для записи, хранения и извлечения информации в магнитной форме [Шноль, 2003; Блюменфельд, 1963; Киперман, 2015].

Кольцевые токи в молекулах с одним кольцом (пиримидинах С и Т) имеют простую геометрию, а в молекулах с гетероциклами (пуринах А и G) - более сложную. Хотя в сильном магнитном поле кольцевой ток в пуринах циркулирует по периметру, рис. 3, А, мы полагаем [Guschin, 2018], что в условиях физиологических слабых магнитных полей кольцевые токи в пуринах будут двигаться не по периметру, а по восьмерке, рис.3, б. Движение кольцевого тока по восьмерке, вероятно, более оптимальное, поскольку будут индуцироваться антипараллельные магнитные векторы, замыкающиеся друг на друга рис 3, В.



**Рис. 3. 1. Кольцевые токи пуринов в сильном магнитном поле движутся по периметру. 2. Мы предполагаем, что в естественном магнитном поле кольцевые токи в пуринах должны иметь форму восьмерки.**

При объединении пар оснований в стопку магнитные векторы оснований объединяются, формируя магнитные линии, как показано на рис. 4. Цепочки из пуринов будут создавать разнонаправленные двойные магнитные линии, а цепочки пиримидинов - одиночные, рис. 4.



**Рис. 4 А. Гипотетический вид линий магнитного поля в стопках оснований, плоская проекция. Б. Стопка оснований в двойной спирали. В. Гипотетический вид линий магнитного поля в стопках оснований, трехмерная модель.**

Заметим, что магнитное поле намагниченной стопки оснований должно быть шире двойной спирали, так что, вероятно, его можно будет обнаружить с помощью чувствительных к полю молекул. Например, с помощью железосерных белков вероятно можно определять намагниченность ДНК и таким образом распознавать определенные последовательности. Последовательность ДНК может работать как магнитная лента, а за пределами молекулы последовательность ДНК будет создавать поле определенного вида. Можно предположить, что кольцевые токи в ДНК постоянны, или имеют колебательную природу. Возможно некоторые участки хроматина могут поддерживать статическое магнитное поле, другие участки могут поддерживать колебательные кольцевые токи. Железосерные ферменты могут подпитывать эти колебания при помощи энергии АТФ. ДНК, в свою очередь, будет служить резонатором и определять структуру этих колебаний. Отметим, что реакции транскрипции и трансляции, при которых используется энергия трифосфатов, также могли бы служить источником энергии для индукции колебаний магнитного поля в ДНК.

### **КАНДИДАТНЫЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ**

Каковы размеры осцилляторов ДНК? Мы полагаем, что наименьшим осциллятором являются одиночные нуклеотидные повторы. Так же часто встречаются ди-, три-, тетра- и пента-нуклеотидные повторы, микросателлиты. Среди простых повторов выделяются теломерные повторы. У позвоночных, многих растений и у дрожжей теломерный повтор состоит из 6 оснований - TTAGGG. У некоторых таксонов растений - из 7 оснований (TTTAGGG), а у насекомых в основном из 5 оснований (TTAGG). Мы полагаем, что повторы в центромерах также могут быть резонаторами. Мы предполагаем, что теломерные и центромерные повторы являются одними из наиболее важных резонаторов в геноме и могут формировать основную несущую частоту клетки и организма. Поскольку эта частота свойственна многим формам жизни, она, вероятно, является одной из основных частот биосферы.

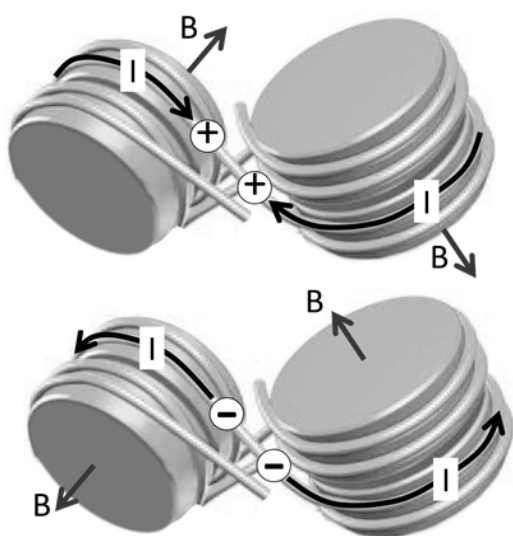
Какие еще повторы в геноме человека представлены наибольшим количеством копий? В нашем геноме повтор Алу представлен наибольшим количеством копий. Это рассеянный повтор, распределенный по геному без видимого порядка. Длина повторов Алу составляет около 300 пар оснований (п.о.), в нашем геноме насчитывают около 1,1 миллиона таких повторов. Вероятно, Алу играют существенную функциональную роль в геноме - они сильно коррелируют с нуклеосомами и часто служат центрами конденсации хроматина. Конденсация хроматина (образование гетерохроматина) начинается с Алу и распространяется в обе стороны вдоль последовательности ДНК. Кроме того в промоторах генов окружение Алу высоко законсервировано. Возможно Алу повторы служат регуляторами хроматина. Показано, что вариации последовательности Алу в промоторах генов коррелируют с транскрипционной активностью этих генов [Hon, 2003; Kim, 2004; Jjingo, 2011]. Мы выдвинули гипотезу, что основная функция Алу - это создание колебаний для работы морфогенного поля [Myakishev-Rempel, 2018; Myakishev-Rempel, 2003; Myakishev-Rempel, 2009]. Мы предполагаем, что Алу у человека и других приматов отвечает за формирование морфогенного поля.

Если существует резонанс ДНК, преобразующий молекулярные сигналы в электромагнитные сигналы и обратно, эти процессы должны опосредоваться специальными молекулярными структурами, которые мы назовем “основными резонаторами”. Для того, чтобы система обладала высокой точностью и высокой эффективностью (низкими потерями энергии), в клетке должно быть много основных резонаторов. Структура основного резонатора должна быть достаточно сложной для поддержания колебаний и превращения молекулярных сигналов в поля и наоборот. Мы считаем, что Алу является наилучшим кандидатом на роль такой

структуры. Трехсот нуклеотидов повтора Алу достаточно для построения уникальной структуры. Алу связаны с парами нуклеосом. 1,1 миллиона повторов Алу должно быть достаточно для обеспечения добротных незатухающих колебаний. Также расположение повторов Алу в промоторах генов должно позволять им переводить полученные электромагнитные сигналы в сигналы биохимические, путем активации репрессии транскрипции [Häsler, 2006]. Мы полагаем, что Алу создают основную часть поля и при взаимодействии с полем вносят основной вклад в контроль транскрипции генов. Важная роль Алу в обработке информации может обеспечиваться хроматином, потенциально способным к сложным колебаниям, нахождением Алу-повторов в составе генома, связывающего их с другими последовательностями ДНК, и тем, что каждый элемент Алу окружен уникальными последовательностями - уникальным адресом в геномной программе. Таким образом, Алу сочетает в себе универсальность, обеспечивающую резонансные связи, и уникальность адресных фланговых последовательностей. Поскольку сами последовательности Алу частично переменчивы и относятся к нескольким широко распространенным подтипам, вероятно возможна передача сигналов специфически между повторами внутри каждого подтипа Алу.

### О ВОЗМОЖНОЙ РОЛИ СТРУКТУР ХРОМАТИНА В КОЛЕБАНИЯХ

Как же может работать резонатор Алу? Поскольку каждый повтор Алу прочно связан с двумя нуклеосомами, а последовательности Алу обычно компактно уложены в составе гетерохроматина, вполне вероятно, что существенным элементом резонатора Алу являются нуклеосомы. Так как стопка нуклеотидных оснований обладает свойствами изолированного проводника [Holmlin, 1997], мы предполагаем, что нуклеосомы в таком резонаторе могут играть роль катушек индуктивности [Guschin, 2018]. Укладка нуклеосом в живых клетках - до сих пор не полностью изученный процесс. Из периодических ДНК-матриц *in vitro* получали соленоидную и зигзаг-укладку [Maeshima, 2016; Wu, 2016; Chen, 2014; Widom, 1985]. В недавней работе по картированию нуклеосомной упаковки в живых клетках исследователи выявили ее нерегулярный характер [Maeshima, 2014; Ou, 2017; Li, 2015]. Скорее всего, поскольку геномная последовательность не периодична, нуклеосомы в живых клетках также уложены нерегулярные структуры [Maeshima, 2014; Ou, 2017; Li, 2015; Scheffer, 2011]. Самыми упорядоченными среди этих структур являются тетрануклеосомы [Scheffer, 2011], но их дальнейшая укладка нерегулярна. Мы предположили, что тетрануклеосомы могут быть колебательными контурами [Poleskaya, 2018] и предложили модель колебаний тетрануклеосомы, рис. 5. [Poleskaya, 2018].



**Рис. 5** Одна из возможных моделей тетрануклеосомного осциллятора. I - ток, B - магнитное поле. Вверху - первая фаза, внизу - вторая фаза колебательного цикла.

В таком колебательном контуре ток пробегает по нуклеосомам, меняя направление, и в каждом цикле пара нуклеосом меняет полярность своего магнитного поля [Poleskaya, 2018].

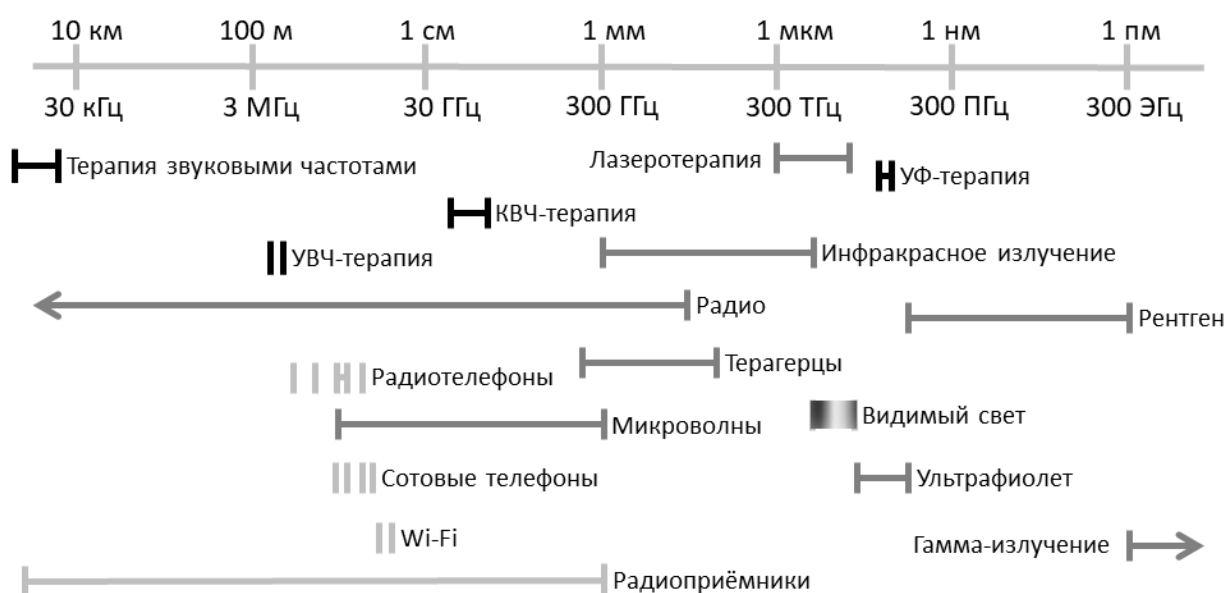


Длина линкерных последовательностей ДНК, соединяющих пары нуклеосом, будет определять геометрию расположения тетра-нуклеосом, а значит, частоту и геометрию генерируемых электромагнитных волн. Это согласуется с вышеописанной идеей различающихся свойств различных последовательностей нуклеотидов и резонирования похожих последовательностей. Более того, эта модель допускает вариабельность последовательностей: резонанс между двумя последовательностями будет поддерживаться до тех пор, пока у них будет похожая геометрия. Эта модель разрешает участкам ДНК с разной первичной структурой находиться в резонансе и таким образом открывает пути для нахождения резонансного кода методами вычислительной геномики.

Хотя элементы Алу разбросаны по геному, казалось бы, случайным образом, существует одно исключение: часто встречаются парные Алу, имеющие вид обращенных повторов [Lobachev, 2000; Chen, 2009]. Обычно обе половины обращенного повтора Алу очень похожи. Примечательно, что между двумя последовательностями Алу в обращенном повторе обычно расположена короткая уникальная последовательность или мостик, который, по нашему мнению, может использоваться как метка последовательности каждого обращенного повтора Алу. Поскольку с каждым Алу-поворотом связаны две нуклеосомы, обращенный повтор Алу должен формировать тетра-нуклеосомную структуру, которая, как мы думаем, должна быть особым типом резонатора. Поскольку в геноме много обращенных повторов Алу, такие резонаторы могут резонировать друг с другом. Длина мостика может определять резонансную частоту и форму волны конкретных групп обращенных Алу-резонаторов.

Мы считаем, что для расшифровки резонансного кода ДНК и определения влияния волн на открытость хроматина и транскрипцию ДНК будет достаточно классических методов геномики и генной инженерии с последующими исследованиями методами спектроскопии и полногеномного картирования. **О ВОЗМОЖНЫХ ЧАСТОТАХ КОЛЕБАНИЙ**

А какой может быть частота естественных ДНК-резонаторов? Частота должна зависеть от размера резонатора и типа колебаний. Частоты коротких повторов типа теломерных должны быть высокими. Физическая длина теломерного повтора GGGTTA - 1,8 нм, и, в зависимости от типа колебаний, резонансная частота может быть очень высокой, возможно, в УФ-диапазоне. Не случайно Гурвич [Гурвич, 1943] и Бурлаков [Бурлаков, 1999; Бурлаков, 2017] отнесли диапазон митогенетического излучения и морфогенного поля у растений и рыбных эмбрионов именно к УФ-спектру, рис. 6.



**Рис. 6 Диапазоны длин волн и частот при основных типах электромагнитной терапии. НИЛТ - низкоинтенсивная лазерная терапия.**

Диапазон возможных размеров потенциальных ДНК-резонаторов велик: от 0,3 нм для отдельной пары нуклеотидов до 8,2 см в случае самой большой хромосомы. Мы полагаем, что целые хромосомы также могут быть резонаторами, поскольку известно, что ДНК является хорошим проводником и передает заряд на большие расстояния без потерь. Таким образом, возможные ДНК-резонаторов могут покрывать диапазон величин, различающихся на 8 порядков, Таблица 1

Таблица 1

	Длина резонатора в парах оснований	в долях метра
Мононуклеотидные повторы	1 bp	0,3 нм
Теломерные повторы	6 bp	2 нм
Алу	300 bp	100 нм
LINE1	6 Kb	2 мкм
Хромосома 21	48 Mb	1,6 см
Хромосома 1	249 Mb	8,2 см

### БУДУЩИЕ ПОДХОДЫ

Идеальным инструментом для проверки колебаний, зависимых от последовательности ДНК, может быть экспериментальная геномика. На сегодня в этой области исследований очень мало публикаций. Какие-то ключи может предоставить практика терапии электромагнитными волнами. В западных странах такая терапия ограничивается чрескожной электростимуляцией нервов (transcutaneous electrical nerve stimulation, TENS) и инфракрасной терапией (low level light therapy, LLLT). В странах Восточной Европы, России и Азии используются и другие формы терапии, в том числе, с использованием ультрафиолетового света, миллиметровых волн, УВЧ и электромагнитных волн звуковых частот, Рис. 6. При такой терапии используются довольно низкие дозы, то есть, вероятно, они усиливают уже существующие в организме сигналы, влияя на морфогенное поле.

Мы предполагаем, что хроматин живых клеток может поддерживать колебания на широком диапазоне частот. Например, хорошо известно, что отдельные ароматические кольца в составе ДНК резонируют при длине волны 260 нм (1,2 петагерц) УФ-диапазона. Это мелкие структуры размером 0,3-0,7 нм. С другой стороны, известно, что существуют очень низкочастотные колебания хроматина - 1 колебание в 40 минут (1,5 колебания в час, 0,0004 Гц) [Métivier, 2003; Pliss, 2013]. Частоты этих двух колебаний (1,2 ПГц и 0,0004 Гц) различаются на 61 порядок. Помимо разницы в размерах имеют значение масса и геометрия колеблющихся структур. Выше мы обсуждали 3 типа колебаний в ДНК - колебания частей ДНК-молекулы (механические), колебания облаков делокализованных электронов стопок оснований (электронные) и колебания делокализованных протонов водородных связей стопок оснований (протонные). Протон примерно в 1900 раз тяжелее электрона, а пара оснований ДНК в 640 раз тяжелее протона. Учтем также, что молекула ДНК сильно гидратирована и связана с хроматином, который еще больше увеличивает массу. Геометрия также сильно влияет на частоту колебаний. Наиболее низкочастотными будут колебания перекручивания вокруг оси ДНК. Таким образом, различные по размеру осцилляторы в хромосоме, различные колебания (электронов, протонов, и частей молекулы) и геометрия вероятно позволяют ДНК поддерживать широкий диапазон частот колебаний.

Насколько нам известно, несмотря на 45-летний возраст гипотезы генерируемого геномом морфогенного поля, на сегодня крайне мало экспериментальных данных, обосновывающих механизм его возникновения. Мы же считаем, что стандартных для современной науки методов вполне достаточно для раскрытия такого механизма. Мы

предлагаем для расшифровки резонансного кода ДНК использовать комплексный подход, объединяющий следующие современные методы: геномное картирование областей открытого хроматина и областей с активной транскрипцией при внешних электромагнитных воздействиях, спектральные исследования как синтетической ДНК заданной последовательности, так и клеток, содержащих такую ДНК, квантово-химическое моделирование структуры ДНК, методы вычислительной лингвистики и биофизические методы. Например, если ввести заданную нуклеотидную последовательность в живую клетку, она, вероятно, сможет передать измененное “волновое сообщение” другим клеткам, вызывая изменения в хроматине, которые можно выявить, например, методом полногеномного картирования. Здесь мы обращаем внимание, что для расшифровки резонансного кода ДНК нами уже предложен набор кандидатных последовательностей, включая Алу и LINE1. (LINE1 - это второй по распространенности повтор в нашем геноме, он представлен примерно 0,5 млн копий и занимает примерно 17% нашего генома.) Использование геномных подходов в разгадке кода ДНК перспективно потому, что с помощью синтетических ДНК-последовательностей можно управлять резонансными процессами в морфогенном поле, и наоборот - меняя морфогенные поля, можно менять структуру хроматина, обнаруживая такие изменения методом высокоэффективного секвенирования.

### **ВОЗМОЖНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ**

Поскольку морфогенное поле предположительно управляет биологическим развитием тканей, органов и всего организма в целом, понимание механизмов создания и считывания этого поля геномом должно позволить управление многими патологическими и возрастными изменениями в человеческом теле, а также позволит разработать эффективные подходы к запуску процессов регенерации тканей, конечностей и органов. Разрешение проблемы позволит вывести медицинские технологии на принципиально новый уровень.

### **Благодарности**

Мы благодарим Миллера Р.А., Константинову И.М., Гаузе Л.Н., Вечера А., Мара А., Чарльза Д.Е., Головину Е., Кананыхину Е., Винтера Д., Радина Д., Туманянц К.Н., Туманянц Е.Н., Кондратьева Н., Назаренко О., Корниенко В., Шапиро Т., Эрдынееву Е., Энжел А., Куприянову Н. и Гаранину И. за обсуждения различных аспектов работы на разных ее этапах.

### **Литература**

A. Hill, R. J. et al. “Alignment of Aromatic Peptide Tubes in Strong Magnetic Fields.” *Advanced materials* 19.24 (2007): 4474–4479. Print.

Alexander, and Lydia Gurwitsch. “Weitere Untersuchungen über Mitogenetische Strahlungen.” *Archiv für mikroskopische Anatomie und Entwicklungsmechanik* 104.1 (1925): 109–115. Print.

Arnold, Anna R., Michael A. Grodick, and Jacqueline K. Barton. “DNA Charge Transport: From Chemical Principles to the Cell.” *Cell chemical biology* 23.1 (2016): 183–197. Print.

Belousov, L. V., A. B. Burlakov, and N. N. Louchinskaia. “Biophotonic Patterns of Optical Interactions between Fish Eggs and Embryos.” *Indian journal of experimental biology* 41.5 (2003): 424–430. Print.

- Belousov, L. V., J. M. Opitz, and S. F. Gilbert. "Life of Alexander G. Gurwitsch and His Relevant Contribution to the Theory of Morphogenetic Fields." *International Journal of* (2004): n. pag. Web.
- Blois, M. S., Jr, J. E. Maling, and L. T. Taskovich. "On the Electron Spin Resonances in DNA." *Biophysical journal* 3 (1963): 275–297. Print.
- Brandes, R., D. R. Kearns, and A. Rupprecht. "A 2H-NMR Study of the DNA Hydration Water in Solid Li-DNA Assemblies." *Biopolymers* 27.5 (1988): 717–732. Print.
- Burlakov, A. B. "Distant Physical Interactions between the Developing Fish Embryos." *Biophotonics and Coherent Systems* 2000: 298–304. Print.
- Burlakov, A. B., O. V. Burlakova, and V. A. Golichenkov. "Distant Wave-Mediated Interactions in Early Embryonic Development of the loach *Misgurnus Fossilis* L." *Russian Journal of Developmental Biology* 31.5 (2000): 287–292. Print.
- Chen, Ling-Ling, and Gordon G. Carmichael. "Altered Nuclear Retention of mRNAs Containing Inverted Repeats in Human Embryonic Stem Cells: Functional Role of a Nuclear Noncoding RNA." *Molecular cell* 35.4 (2009): 467–478. Print.
- Chen, Ping, Ping Zhu, and Guohong Li. "New Insights into the Helical Structure of 30-Nm Chromatin Fibers." *Protein & cell* 5.7 (2014): 489–491. Print.
- Cifra, Michal, Jeremy Z. Fields, and Ashkan Farhadi. "Electromagnetic Cellular Interactions." *Progress in biophysics and molecular biology* 105.3 (2011): 223–246. Print.
- Ciszak, Marzena et al. "Swarming Behavior in Plant Roots." *PloS one* 7.1 (2012): e29759. Print.
- "Die Mitogenetische Strahlung." *Protoplasma* 16.1 (1932): 164–167. Print.
- Dogra, Shilpa et al. "NMR-Based Structure of Anticancer Drug Mitoxantrone Stacked with Terminal Base Pair of DNA Hexamer Sequence D-(ATCGAT)<sub>2</sub>." *Journal of biomolecular structure & dynamics* 32.7 (2014): 1164–1183. Print.
- Farhadi, Ashkan et al. "Evidence for Non-Chemical, Non-Electrical Intercellular Signaling in Intestinal Epithelial Cells." *Bioelectrochemistry* 71.2 (2007): 142–148. Print.

- Fowler, Patrick W., Mark Lillington, and Leif P. Olson. "Aromaticity,  $\pi$ -Electron Delocalization, and Ring Currents." *Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry* 79.6 (2007): 969–979. Print.
- Fuss, Jill O. et al. "Emerging Critical Roles of Fe-S Clusters in DNA Replication and Repair." *Biochimica et biophysica acta* 1853.6 (2015): 1253–1271. Print.
- Guelev, V. et al. "Peptide Bis-Intercalator Binds DNA via Threading Mode with Sequence Specific Contacts in the Major Groove." *Chemistry & biology* 8.5 (2001): 415–425. Print.
- Gurwitsch, Alexander. "Die Natur Des Spezifischen Erregers Der Zellteilung." *Archiv für mikroskopische Anatomie und Entwicklungsmechanik* 100.1 (1923): 11–40. Print.
- . "Über Den Begriff Des Embryonalen Feldes." *Wilhelm Roux' Archiv fur Entwicklungsmechanik der Organismen* 51.1 (1922): 383–415. Print.
- Gurwitsch, Lydia. "Untersuchungen über Mitogenetische Strahlen." *Archiv für mikroskopische Anatomie und Entwicklungsmechanik* 103.3 (1924): 483–489. Print.
- Guschin, Vadim V., Oksana Poleskaya, Nelli Zyryanova, Alexey Tovmash, and Max Myakishev-Rempel -B. "On the Function of DNA Magnetism." (2018): n. pag. Web. 12 Mar. 2018.
- Guschin, Vadim V., Oksana Poleskaya, Nelli Zyryanova, Alexey Tovmash, Abraham Mara, et al. "Possible Models of Ring Current Oscillations in DNA." (2018): n. pag. Web. 20 Sept. 2018.
- Hameroff, Stuart R., Travis J. A. Craddock, and Jack A. Tuszynski. "Quantum Effects in the Understanding of Consciousness." *Journal of integrative neuroscience* 13.02 (2014): 229–252. Print.
- Häsler, Julien, and Katharina Strub. "Alu Elements as Regulators of Gene Expression." *Nucleic acids research* 34.19 (2006): 5491–5497. Print.
- Holmlin, R. Erik, Peter J. Dandliker, and Jacqueline K. Barton. "Charge Transfer through the DNA Base Stack." *Angewandte Chemie* 36.24 (1997): 2714–2730. Print.
- Hon, Lawrence S., and Ajay N. Jain. "Compositional Structure of Repetitive Elements Is

- Quantitatively Related to Co-Expression of Gene Pairs.” *Journal of molecular biology* 332.2 (2003): 305–310. Print.
- Jjingo, Daudi et al. “Effect of the Transposable Element Environment of Human Genes on Gene Length and Expression.” *Genome biology and evolution* 3 (2011): 259–271. Print.
- Khomutov, G. B. “[Possible role of iron ions in changes in composition of DNA complexes and their magnetic properties in cell cycle processes].” *Biofizika* 49.1 (2004): 140–144. Print.
- Kim, Tae-Min, Yu-Chae Jung, and Mun-Gan Rhyu. “Alu and L1 Retroelements Are Correlated with the Tissue Extent and Peak Rate of Gene Expression, Respectively.” *Journal of Korean medical science* 19.6 (2004): 783–792. Print.
- Kwon, Young-Wan, Jung-Il Jin, et al. “Charge Transport in the DNA Fiber: Effects of Magnetic Field and Microwave Irradiation.” *New Physics* 62.9 (2012): 1035–1037. Print.
- Kwon, Young-Wan, Dong Hoon Choi, et al. “Comparison of Magnetic Properties of DNA-Cetyltrimethyl Ammonium Complex with Those of Natural DNA.” *Science China. Chemistry* 55.5 (2012): 814–821. Print.
- Kwon, Young-Wan et al. “Hydration Effect on the Intrinsic Magnetism of Natural Deoxyribonucleic Acid as Studied by EMR Spectroscopy and SQUID Measurements.” *Bulletin of the Korean Chemical Society* 29.6 (2008): 1233–1242. Print.
- . “Materials Science of DNA.” *Journal of materials chemistry* 19.10 (2009): 1353–1380. Print.
- Lander, E. S., and International Human Genome Sequencing Consortium. “Initial Sequencing and Analysis of the Human Genome.” *Nature* 409.6822 (2001): 860–921. Print.
- Lee, Chang Hoon, Young-Wan Kwon, and Jung-Il Jin. “Electrical and Magnetic Properties of DNA.” *Materials Science of DNA* (2011): 121–162. Print.
- Ling, G. N. “A Revolution in the Physiology of the Living Cell.” (1992): n. pag. Web.
- . “The Physical State of Water in Living Cell and Model Systems.” *Annals of the New York Academy of Sciences* 125.2 (1965): 401–417. Print.
- Lipkind, M. “Alexander Gurwitsch and the Concept of the Biological Field, Part 2.” *21st century*

*science & technology* 11 (1998): 34–53. Print.

Lipkind, Michael. “Alexander Gurwitsch and the Concept of the Biological Field, Part 1.” *21st century science & technology* 11 (1998): 36–51. Print.

Li, Xiaomin et al. “Analysis of Chromatin Fibers in Hela Cells with Electron Tomography.” *Biophysics reports* 1 (2015): 51–60. Print.

Lobachev, K. S. et al. “Inverted Alu Repeats Unstable in Yeast Are Excluded from the Human Genome.” *The EMBO journal* 19.14 (2000): 3822–3830. Print.

Lown, J. William, and Christopher C. Hanstock. “High Field <sup>1</sup>H-NMR Analysis of the 1:1 Intercalation Complex of the Antitumor Agent Mitoxantrone and the DNA Duplex [d(CpGpCpG)]<sub>2</sub>.” *Journal of biomolecular structure & dynamics* 2.6 (1985): 1097–1106. Print.

Maeshima, Kazuhiro et al. “Chromatin as Dynamic 10-Nm Fibers.” *Chromosoma* 123.3 (2014): 225–237. Print.

---. “Nucleosomal Arrays Self-Assemble into Supramolecular Globular Structures Lacking 30-Nm Fibers.” *The EMBO journal* 35.10 (2016): 1115–1132. Print.

Métivier, Raphaël et al. “Estrogen Receptor-Alpha Directs Ordered, Cyclical, and Combinatorial Recruitment of Cofactors on a Natural Target Promoter.” *Cell* 115.6 (2003): 751–763. Print.

Meyl, Konstantin. *DNA and Cell Resonance*. Kindle. N.p. Print.

Miller, Richard Alan, Burt Webb, and Darden Dickson. “A Holographic Concept of Reality.” *Psychoenergetic Systems* 1 (1975): 55–62. Print.

Miller, Richard A., and Burt Webb. “Embryonic Holography: An Application of the Holographic Concept of Reality.” *DNA Decipher Journal* 2.2 (2012): n. pag. Web. 11 Sept. 2018.

Muller, A., G. Hotz, and K. G. Zimmer. “Electron Spin Resonances in Bacteriophage: Alive, Dead, and Irradiated.” *Biochem. Biophys. Research Commun.* 4 (1961): n. pag. Web.

Myakishev-Rempel, Max. “Acute Light Exposure (670 Nm) Activates Genes in Mouse Skin but Does Not Significantly Alter Cancer Growth in Long Term.” American Society for Photobiology, *The science behind LLLT*. 2009.

- . "DNA Resonance." Teslotech extraordinary technology conference. 2018.
- . "Transposons and the Control of Chromatin Structure." 2003.
- Ou, Horng D. et al. "ChromEMT: Visualizing 3D Chromatin Structure and Compaction in Interphase and Mitotic Cells." *Science* 357.6349 (2017): n. pag. Web.
- Peters, R. et al. "An SRY Mutation Causing Human Sex Reversal Resolves a General Mechanism of Structure-Specific DNA Recognition: Application to the Four-Way DNA Junction." *Biochemistry* 34.14 (1995): 4569–4576. Print.
- Pliss, Artem et al. "Chromatin Dynamics in Living Cells: Identification of Oscillatory Motion." *Journal of cellular physiology* 228.3 (2013): 609–616. Print.
- Poleskaya, Oksana et al. "On Possible Role of DNA Electrodynamics in Chromatin Regulation." *Progress in biophysics and molecular biology* 134 (2018): 50–54. Print.
- Pullman, Bernard, and Alberte Pullman. *Quantum Biochemistry*. N.p., 1963. Web.
- Quickenden, T. I., and S. S. Que Hee. "Weak Luminescence from the Yeast *Saccharomyces Cerevisiae* and the Existence of Mitogenetic Radiation." *Biochemical and biophysical research communications* 60.2 (1974): 764–770. Print.
- Rossi, C. et al. "New Perspectives in Cell Communication: Bioelectromagnetic Interactions." *Seminars in cancer biology* 21.3 (2011): 207–214. Print.
- Sankarampadi Aravamudhan. "QM Chemical Shift Calculations to Infer on the Long-Range Aromatic Ring Current-Induced Field Contributions." *Journal of Materials Science and Engineering A* 5.6 (2015): n. pag. Web.
- Scheffer, Margot P., Mikhail Eltsov, and Achilleas S. Frangakis. "Evidence for Short-Range Helical Order in the 30-Nm Chromatin Fibers of Erythrocyte Nuclei." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 108.41 (2011): 16992–16997. Print.
- Scholkmann, Felix, Daniel Fels, and Michal Cifra. "Non-Chemical and Non-Contact Cell-to-Cell Communication: A Short Review." *American journal of translational research* 5.6 (2013): 586–593. Print.



- Scott, A. C. "Soliton Oscillations in DNA." *Physical review A: General physics* 31.5 (1985): 3518–3519. Print.
- Shulman, R. G. et al. "Ferromagnetic Resonance in DNA Samples." *Biochemical and biophysical research communications* 5.1 (1961): 52–56. Print.
- Snipes, Wallace, and Walter Gordy. "Electron Paramagnetic Resonance of Vanadyl Ions Trapped in RNA and DNA." *The Journal of chemical physics* 41.11 (1964): 3661–3662. Print.
- Trushin, Maxim V. "Distant Non-Chemical Communication in Various Biological Systems." *Rivista di biologia* 97.3 (2004): 409–442. Print.
- Van Winkle, D. H. et al. "Magnetic-Field Alignment of Cholesteric Liquid-Crystalline DNA." *Physical Review E* 55.4 (1997): 4354–4359. Print.
- Vavrinská, Andrea et al. "Impact of Nucleic Acid Self-Alignment in a Strong Magnetic Field on the Interpretation of Indirect Spin-Spin Interactions." *Journal of biomolecular NMR* 64.1 (2016): 53–62. Print.
- Volkov, S. N., and A. M. Kosevich. "[Conformation oscillations of DNA]." *Molekuliarnaia biologii* 21.3 (1987): 797–806. Print.
- Volodyaev, Ilya, and Lev V. Belousov. "Revisiting the Mitogenetic Effect of Ultra-Weak Photon Emission." *Frontiers in physiology* 6 (2015): 241. Print.
- WALSH jun., W. M., R. G. Shulman, and R. D. Heidenreich. "Ferromagnetic Inclusions in Nucleic Acid Samples." *Nature* 192 (1961): 1041. Print.
- Webb, G. A. *Nuclear Magnetic Resonance*. Royal Society of Chemistry, 2000. Print.
- Widom, J., and A. Klug. "Structure of the 3000Å Chromatin Filament: X-Ray Diffraction from Oriented Samples." *Cell* 43.1 (1985): 207–213. Print.
- Wikipedia contributors. "Aromatic Ring Current." *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. N.p., 16 Apr. 2018. Web. 13 Sept. 2018.
- Wraight, Colin A. "Chance and Design--Proton Transfer in Water, Channels and Bioenergetic Proteins." *Biochimica et biophysica acta* 1757.8 (2006): 886–912. Print.

Wu, Chenyi, John E. McGeehan, and Andrew Travers. "A Metastable Structure for the Compact 30-Nm Chromatin Fibre." *FEBS letters* 590.7 (2016): 935–942. Print.

Xu, Jingjing et al. *Wireless Communication in Biosystems*. 2017.

Zhang, Lei et al. "27 T Ultra-High Static Magnetic Field Changes Orientation and Morphology of Mitotic Spindles in Human Cells." *eLife* 6 (2017): n. pag. Web.

Блюменфельд, Л. А. "Аномальные магнитные свойства нуклеиновых кислот." *Биофизика* 4.5 (1959): 515–519. Print.

---. "О ферромагнетизме органических структур." *Доклады Академии наук* 148.2 (1963): 361–364. Print.

Бурков, В. Д. et al. "Управление дистантным взаимодействием биологических объектов при помощи кварцевых световозвращателей." *Биомедицинская радиоэлектроника* 8-9 (2008): 41–48. Print.

Бурлаков, А. Б. et al. "Изменчивость морфологических признаков как проявление эффектов излучения крайне высокой частоты и их оценка в биоинформационном контексте." *Биомедицинская радиоэлектроника* 1 (2017): 44–50. Print.

---. "О возможности влияния на конфигурацию электромагнитных полей биологических объектов." *Труды VI Международного конгресса "Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине."* N.p. 111–112. Print.

---. "Особенности биологического действия спектральных составляющих сверхслабых излучений вьюна в раннем онтогенезе." *Труды IV Международного конгресса "Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине."* biophys.ru, 2006. 34–40. Print.

---. "Поляризационные эффекты при дистантном взаимодействии биологических объектов." *Вестник Московского университета. Серия 16: Биология* 2 (2002): 3–8. Print.

Бурлаков, А. Б., О. В. Бурлакова, and В. А. Голиченков. "Возможные изменения индивидуального биологического времени слабыми электромагнитными излучениями." *Труды V Международного конгресса "Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и*

медицине.” N.p., 2009. 40–47. Print.

---. “Роль сверхслабых биоизлучений в развитии низших позвоночных.” *Современные проблемы физики, биофизики и информационных технологий*. Краснодар: Краснодарский ЦНТИ, 2010. 81–84. Print.

Бурлаков, А. Б., О. В. Бурлакова, and В. А. Голиченков. “Дистантные взаимовлияния биологических систем.” *Научные труды VI Международного конгресса “Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине.”* biophys.ru, 2012. 111. Print.

Бурлаков, А. Б., О. В. Бурлакова, and В. А. Голиченков. “Дистантные взаимодействия разновозрастных эмбрионов вьюна.” *ДАН* 368.4 (1999): 562–564. Print.

Бурлаков, А. Б., and Н. Е. Лебедева. “Адекватность биологических моделей при исследовании влияния сверхмалых доз воздействий химической и физической природы.” *труды VII Международного конгресса «Слабые и ...* (2015): 21–22. Print.

Гурвич, А. А. *Проблема митогенетического излучения как аспект молекулярной биологии*. Ленинград: Издательство “Медицина,” 1968. Print.

Гурвич, А. Г. *Принципы аналитической биологии и теории клеточных полей*. Москва: Наука, 1991. Print.

Гурвич, А., and Л. Гурвич. “Двадцать лет митогенетического излучения (возникновение, дальнейшее развитие и перспективы).” *Успехи современной биологии* XVI.3 (1943): 1–28. Print.

Киперман, Семен. “Научная драма профессора Блюменфельда.” *ИСПАГЕО*. N.p., 10 Nov. 2015. Web. 14 Sept. 2018.

Кузин, А. М., and Г. Н. Суркенова. “Вторичное биогенное излучение человеческого организма.” *Радиационная биология. Радиоэкология* 39.1 (1999): 84–88. Print.

Любищев, А. А. *Проблемы формы, систематики и эволюции организмов*. Рипол Классик, 1982. Print.

Шноль, С. Э. “Лев Александрович Блюменфельд (23.XI.1921 - 3.IX.2002).” *Биофизика* 48.6

(2003): 966–976. Print.