

УДК 538.573.61; 577.359; 582.232; 615.814.1; 615.471; 616.085

**АНАЛИЗ МОЛЕКУЛЯРНЫХ КВЧ СПЕКТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ
НЕЛИНЕЙНЫХ БИОСРЕД, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ МОДЕЛЬЮ МЭНЛИ-
РОУ**

**А.В. Майбородин, А.П. Креницкий, О.В. Бецкий, В.Д. Тупикин,
В.Ф. Киричук, Г.М. Шуб, В.И. Петросян, А.В. Благодаров, С.В. Власкин
С.А. Дубовицкий, А.Н. Мельников**

Основываясь на нелинейных свойствах биосред и электродинамической модели Мэнли-Роу, предложен механизм преобразования частот и анализатор молекулярных КВЧ спектров излучения биосред с использованием СВЧ радиометров. Обсуждаются вопросы соотношения спектральных радиоизлучений воды и кислорода. Приведены результаты экспериментальных исследований метаболизма по кислородному спектру.

**ANALYZER
OF MOLECULAR EHF SPECTRA OF RADIATION
OF NON-LINEAR BIO-MEDIA,
REPREZENTED BY THE MODEL OF MANLY-ROW**

**A.V. Maiborodin, A.P. Krenitskyi, O.V. Betski, V.D. Tupikin,
V.F. Kirichuk, G.M Shub, V.I. Petrosyan, A.V. Blagodarov, S.V. Vlaskin,
S.A. Dubovitskyi, A.N. Melnikov**

Analyzer of molecular EHF spectra of radiation of non-linear bio-media, using the high- and low-frequency radiometers is suggested. It is basing on non-linear properties of bio-media and electrodynamic model of transformation of Manly-Row's spectra in them. Experimental results are represented.

1. Введение

Чем сложнее объект исследования, тем он многогранней и характеризуется бо'льшим количеством признаков, в совокупности обогащающих представление об объекте. Одним из таких объектов является биологическая среда живого организма. Обсуждение радиофизических резонансных (информационных) признаков биосред берет свое начало с открытия особой биологической активности воздей-

ствия на биологический объект КВЧ (ММ) радиоволн низкой, негреющей интенсивности [1].

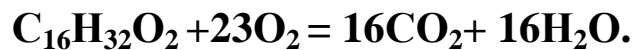
Затем были обнаружены резонансные частоты прозрачности и эффект преобразования частоты резонансных излучений в водных и биологических средах из ММ в ДМ диапазон. Например, перенос излучений в диапазон частот вблизи 1 ГГц наблюдается при зондировании водосодержащих сред волнами на частотах вблизи 65 ГГц) [2 – 4]. Такой междиапазонный перенос частоты имеет свое обоснование. По последним данным, обе указанные частоты входят в спектр резонансных частот водной среды, между которыми происходит энергетический обмен и на которых водосодержащие среды прозрачны для низко-интенсивных радиоволн. Таким образом, выбор этих частот не случаен и **они являются базовыми в исследованиях процессов метаболизма и, благодаря их свойству прозрачности, они «выносят» информацию из глубин организма.**

Резонансная радиопрозрачность водосодержащих сред в КВЧ диапазоне подтверждена прямыми наблюдениями по объемной интерференции волн и в экспериментах с использованием спектрометра на квазиоптике [5]. Эти эффекты были объяснены на основе представлений о явлении резонансно-волнового состояния молекулярной системы воды и водной компоненты биосреды, проявляющегося в перестройках их резонансных спектров излучения [2 - 6]. Можно также полагать, что в данном эффекте реализуется механизм радиолюминесценции [7]. Резонансные свойства водной компоненты биосред легли в принципы построения радиоэлектронных спектральных комплексов [2,3,8].

Биополе живого организма представляет собой спектр селективных резонансных излучений на тепло-шумовом планковском фоне молекулярных спектров излучения и поглощения участвующих в метаболизме веществ, в том числе воды и атмосферных газов (таблица некоторых из них приведена в [9]). В связи с этим возникает возможность радиофизического контроля активности процессов метаболизма, которые и определяют функциональное состояние органов и систем организма.

Тем самым задача контроля функционирования различных органов и систем организма радиофизическими методами перерастает в проблему создания радиоэлектронной диагностической аппаратуры. **И здесь возникает вопрос – по какому процессу и по спектру какого участника метаболизма вести регистрацию спектральных радиоизлучений?**

Наибольшая плотность мощности излучения в биохимических реакциях метаболизма связана с кислородным обменом [10]. Поэтому эффективней всего ориентироваться на окислительные реакции. При этом имеются две возможности: принимать спектры излучения исходных реагентов или конечных продуктов реакции. Чтобы понять смысл сказанного, приведем для наглядности реакцию окисления углеводорода (пальмитиновой жирной кислоты):



Из реакции видно, что, действительно, можно принимать излучение как от исходного кислорода (O_2), так и от конечного метаболита – вновь продуцируемой в реакции воды (H_2O). По последнему «индикатору» метаболизма аппаратура и результаты исследований уже имеются. Они определяют активность метаболизма по скорости продукции воды в органах и системах организма за исключением кровеносной системы. В крови процессы метаболизма преимущественно связаны с переносом кислорода. Поэтому о клеточном метаболизме, связанном с активностью кровоснабжения биотканей, можно судить по интенсивности спектров радиоизлучений, вызванных, именно, присутствием кислорода.

Впервые предложенный ЦНИИИА и СГМУ метод КВЧ терапии на частотах вращательных молекулярных спектров излучения и поглощения веществ, участвующих в метаболизме, в первую очередь, оксида азота и кислорода (NO и O_2), и дальнейшее экспериментальное исследование этого метода показали наличие причинно-следственной связи между воздействием спектров NO и O_2 на биосреду и уровнем метаболизма в клеточных популяциях [11].

Кровь человека содержит по объему ~ 19% кислорода, столько, сколько его содержится в атмосферном воздухе [10]. Наиболее интенсивные резонансные ли-

нии в спектрах радио-излучения и поглощения кислорода находятся в КВЧ диапазоне.

Водяной пар и вода, из которых на 70% состоит человек, имеет очень частый молекулярный спектр - в КВЧ диапазоне находится свыше 900 селективных спектральных линий [12].

В органах дыхания кровь насыщается кислородом атмосферного воздуха и далее транспорт кислорода к клеткам организмов осуществляется кровотоком.

С током крови связанный с гемоглобином кислород доставляется к различным органам и распределяется по сети мелких сосудов и капилляров. При этом соответствующее количество химически связанного гемоглобином кислорода освобождается и включается в диффузионный поток к клеткам, при этом уровни парциальных давлений кислорода постепенно уменьшаются от атмосферного до внутриклеточного [13].

Кислород используется в качестве первичного биологического окислителя в окислительно-восстановительных реакциях энергообразования, сопряженных с синтезом АТФ. Он участвует также в синтезе разнообразных структурных, регуляторных, функционально-активных веществ (аминокислоты, жиры, углеводы, гормоны, нейромедиаторы и др.), необходимых для поддержания структурной целостности, функциональной активности и регуляции деятельности биосистем различного уровня организации.

У высокоорганизованных организмов даже кратковременное уменьшение на 5-10% содержания O_2 в тканях ведет к компенсаторным сдвигам скоростей около 60 известных кислородо-зависимых реакций. Поэтому изучению закономерностей и механизмов транспорта O_2 в биологических системах уделяется неослабевающее внимание на протяжении многих десятилетий.

В медицинской практике уровни парциальных давлений PO_2 в различных звеньях транспорта кислорода несут основную информацию о состоянии кислородного статуса организма, эффективности функционирования сердечно-сосудистой и дыхательной систем. С целью получения возможно более точной информации об их уровнях в экстремальных ситуациях (хирургия, реанимация)

созданы и применяются дорогостоящие специализированные автоматизированные комплексы, предназначенные для внутрисосудистого мониторинга, анализа микропроб крови, транскожного (транскутанного) измерения PO_2 .

Для измерения содержания O_2 в воздухе, жидкостях и биологических тканях применяются также амперометрические молекулярно-селективные сенсоры – кислородные электроды [13]. Однако такие точечные измерители инерционны, так как необходимо время для диффузии кислорода через кожный покров при кислородном обмене в конкретных органах. Но есть и принципиальные ограничения. Сенсоры чувствительны только к концентрации свободного кислорода, диффундирующего от органов через кожу, и поэтому оценивают метаболизм условно. Напротив, **радиоспектральный анализ способен реагировать на объемную часть активного кислорода, непосредственно участвующего в обменных реакциях**, в чем и заключается отличие радиофизического метода от адсорбционного.

В последнее десятилетие развивается новое направление в биомедицинских технологиях – использование радиометрического оборудования (радиометров) для исследования молекулярных спектров излучения и поглощения метаболитов, как составной части шумового биополя [8, 14].

Поэтому спектры излучения и поглощения кислорода, водяного пара и воды, имеющие наибольшую плотность мощности в шумовом спектре биополя (по сравнению с другими метаболитами), дают возможность в первую очередь по характеру изменения их резонансных спектров прогнозировать изменение метаболизма на молекулярном уровне. Причем молекулярные спектры излучения биосред могут давать диагностическую информацию, а внешнее воздействие на биосреду электромагнитным излучением на частотах молекулярных резонансных спектров поглощения или пропускания может регулировать процесс коррекции физиологического состояния организма [5, 6, 8, 15].

Анализ биополя человека является сложной научно-технической задачей.

Одним из наиболее полных и корректных исследований **собственных биополей** человека – тепловых в различных частотных диапазонах электромагнитных

излучений от ИК до СВЧ, акустических, магнитных и др. были предприняты в работе [16].

Измерение спектров поглощения и излучения биосред в КВЧ диапазоне связан с разработкой сверхчувствительных приемников (радиометров) с высоким разрешением по частоте (малой полосой приема), выполняемых обычно методом преобразования частоты, что снижает их чувствительность. Задача усложняется еще и тем, что увеличение частоты приема, чувствительности и разрешающей способности радиометров являются, как известно, противоречивыми требованиями.

Возможным решением проблемы измерения молекулярных спектров биополя является **переход от регистрации пассивных собственных излучений к приему СВЧ радиоизлучений, стимулированных «накачкой» внешними резонансными радиоволнами КВЧ диапазона, когда используются нелинейные свойства биосред.**

Применяемая в исследованиях спектральная аппаратура **использует эффект преобразования частот водных резонансов 65 ГГц → 1 ГГц.** На этом принципе создан радиоэлектронный комплекс, регистрирующий активность процессов метаболизма по резонансным радиоизлучениям воды, продуцируемой в окислительных реакциях [8]. **Частота резонансного поглощения-излучения кислорода находится вблизи $f_c \sim 64$ ГГц. Отсюда вытекает вопрос, имеется ли при указанных радиофизических параметрах преобразования частот возможность регистрации участия кислорода в обменных процессах по его спектру поглощения?**

В данной работе на основе модели спектрального преобразования Менли-Роу обсуждается механизм взаимодействия низко-интенсивных КВЧ радиоволн с кислородом на фоне резонансно-волновых процессов в водной компоненте биосреды, указывается на основе использования нелинейных свойств биосреды путь к решению радиофизических проблем по регистрации кислородных спектров и приводятся конкретные экспериментальные результаты по оценке кислородного

участия в метаболизме в различных биотканях в сравнении с адсорбционным методом.

2. Электродинамическая модель взаимодействия КВЧ волн с биосредами по Мэнли-Роу.

Если биосреду представить в виде многослойной матрицы нелинейных реактивностей, а такая модель экспериментально подтверждена [17 - 21], то для такой среды можно использовать спектральные соотношения Мэнли-Роу [22, 23]:

$$\sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{m \cdot P_{m,n}}{mf_1 + nf_2} = 0, \quad (1)$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \frac{n \cdot P_{m,n}}{mf_1 + nf_2} = 0,$$

где $P_{m,n}$ - поток мощности, излучаемый биосредой, состоящий из бесконечного числа гармонических составляющих на частотах вида $mf_1 + nf_2$, f_1 и f_2 - частота измеряемого сигнала и частота внешнего сигнала, соответственно.

Приведенные соотношения не зависят от типа реактивностей биосреды, а также от формы их характеристик.

Если представить, что в биосреде существуют колебания (молекулярные спектры метаболизма) только на следующих частотах и мощностях: на частоте измеряемого сигнала f_c мощностью P_c , на суммарной частоте $(f_H + f_c)$ мощностью P_+ и разностной частоте $(f_H - f_c)$ мощностью P_- , и при этом на среду действуют волны частот f_H мощностью P_H генератора накачки, то соотношение (1) принимает вид:

$$\frac{P_H}{f_H} + \frac{P_+}{f_H + f_c} + \frac{P_-}{f_H - f_c} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{P_c}{f_c} + \frac{P_+}{f_H + f_c} - \frac{P_-}{f_H - f_c} = 0.$$

Эти соотношения поясняют принцип преобразования энергии в биосреде.

Из формул (2) следует, что если биосреда поглощает мощность от генератора накачки P_H , то при определенных условиях среда способна излучать мощность на частотах $f_c, (f_H + f_c), (f_H - f_c)$. Если радиометр, принимающий сигнал, настроен на частоту $(f_H - f_c)$, то формулы (2) можно записать в виде:

$$\begin{aligned} \frac{P_H}{f_H} + \frac{P_-}{f_H - f_c} &= 0, \\ \frac{P_c}{f_c} - \frac{P_-}{f_H - f_c} &= 0. \end{aligned} \tag{3}$$

Из формул (3) следует важный вывод - мощность генератора накачки с помощью биосреды преобразуется в мощности на частотах f_c и $(f_H - f_c)$. Поэтому, если на биосреду подать сигнал на частоте f_c или $(f_H - f_c)$, то должно происходить усиление, величина которого определяется формулой (3). Коэффициент усиления по мощности на частоте $(f_H - f_c)$ будет [19]:

$$P_- = P_c \cdot K, \tag{4}$$

где $K = \frac{f_H - f_c}{f_c}$.

В этом случае можно говорить о параметрическом усилении в биосредах, причем необходимо отметить важное свойство этой модели, заключающееся в том, что параметрическое усиление может происходить при весьма низком уровне молекулярных шумов биосреды [18].

Следует отметить работы [12,13], в которых обосновано существование стохастического резонанса в нелинейных биологических средах, излучающих шумовой сигнал при воздействии на них гармонического сигнала. Поэтому мо-

дель нелинейной биосреды по Мэнли-Роу будет справедлива и для случая шумового сигнала, когда он представлен в виде бесконечного спектра частот ($mf_1 + nf_2$) в формуле (1).

Таким образом, если на нелинейную среду, которая излучает и в которой существует селективный и шумовой сигнал, представленный в виде молекулярных спектров излучения и поглощения метаболитов, воздействовать перестраиваемым по частоте $f_H(t)$ КВЧ гармоническим или шумовым полем генератора накачки, то среда может излучать сигналы на промежуточной частоте, равной $f_{\Pi} = (f_H(t) - f_C)$, где f_C - частота гармонического или стохастического резонанса молекулярных спектров метаболизма.

Если на этот сигнал f_{Π} настроен радиометр, то в момент совпадения промежуточной частоты f_{Π} с изменяющейся разницей сигналов ($f_H(t) - f_C$), на выходе радиометра в полосе его приема будут формироваться напряжения амплитудных флуктуаций при отстройке от частоты f_C на величину, равную частоте f_{Π} приема ВЧ радиометра. Причем необходимо отметить, что в шумовом варианте при свипировании частоты генератора накачки радиоотклик среды, в силу непрерывности шумового спектра, носит монотонный характер. Острую немонотонность приносят селективные резонансы, при этом коэффициент усиления многократно возрастает.

Предложенная электродинамическая модель биосреды позволяет анализировать КВЧ молекулярные спектры метаболизма с помощью низкочастотных радиометров высокой чувствительности. При этом отпадает необходимость использования дорогостоящих радиометров КВЧ диапазона, имеющих более низкую чувствительность из-за необходимости использования преобразователей частоты.

Основной проблемой измерений молекулярных спектров биополей являются вопросы экранирования от внешних электромагнитных и тепло-шумовых полей, а также согласование систем: биосреда-радиометр, биосреда-генератор накачки; биосреда-атмосферный воздух-радиометр, биосреда-атмосферный воздух-генератор накачки. Эти проблемы решаются с помощью согласующих трансфор-

маторов и других квазиоптических многомодовых узлов и волноведущих структур, свойства которых показаны в работах [5, 9, 14, 15], посвященных разработке измерителей амплитудных и фазовых флуктуаций в биосредах и генераторов молекулярных спектров излучения атмосферных газов-метаболитов [21].

Для нахождения стохастического и селективного резонанса в качестве генератора накачки может использоваться квазиоптический КВЧ-генераторный комплекс моделирования детерминированных шумов [21].

При создании условий параметрического усиления в нелинейных биосредах, снижаются требования к чувствительности анализаторов (радиометров) молекулярных спектров, особенно в терагерцовом диапазоне частот, так как существенно увеличивается частота накачки (4), но эта задача требует дальнейших экспериментальных исследований.

3. Экспериментальные исследования с помощью анализатора молекулярных спектров биосред.

На рисунке 1 показана общая схема анализатора.

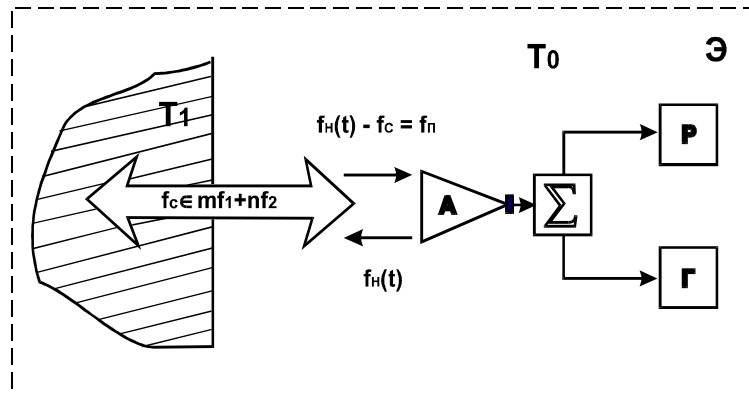


Рис. 1. Анализатор молекулярных спектров биосред:

А - приемно-передающая антенна; Р – ВЧ-радиометр; Σ - ВЧ/СВЧ сумматор; Г – генератор молекулярных спектров метаболитов $f_H(t)$; $mf_1 + nf_2$ - спектры излучения и поглощения метаболитов; $f_c \in mf_1 + nf_2$ - измеряемая частота, принадлежащая спектру $mf_1 + nf_2$; f_n - промежуточная частота (частота приема радиометра); Э – камера, экранированная от внешних электромагнитных излучений; T_0 - температура окружающей среды; T_1 - температура биосреды, $T_1 > T_0$.

Экспериментальные исследования и метрологическая оценка предложенной модели анализатора молекулярных спектров биополя проводились с помощью разработанного совместно в ООО «Проект «Новые технологии»» (P.N.T.) и НПФ «Телемак» г. Саратов аттестованного радиометра, работающего на частоте приема 1 ГГц в полосе ± 50 МГц, с чувствительностью $0,05 \text{ K}^\circ$ [10]. Приемным сенсором служила аппликаторная антенна, согласованная с кожей человека и с водой и принимающая СВЧ–сигнал с круговой поляризацией на резонансной частоте $f_{\Pi} = 1 \text{ ГГц}$ в полосе приема радиометра (см. [10]).

В качестве генератора накачки использовались аттестованные измерительные генераторы «МТА КВЧ» на фиксированной частоте 65 ГГц и ГЧ-142 с частотным диапазоном перестройки $54 \div 78 \text{ ГГц}$

Повторим, что для измерения молекулярного спектра излучения f_{Π} и поглощения кислорода $f_c \sim 64 \text{ ГГц}$, генератор накачки должен быть настроен на частоту $f_{\text{H}} = (f_c + f_{\Pi}) = 65 \text{ ГГц}$, чтобы получить сигнал амплитудной флуктуации биополя на частоте отстройки от f_c на 1 ГГц. При перестройке частоты f_{H} в пределах $65 \pm 50 \text{ МГц}$ сигнал на выходе радиометра носил резонансный характер (максимальное значение амплитудных флуктуаций фиксировалось на частоте, близкой к 65 ГГц). Напомним, что частоты 65 ГГц и 1 ГГц являются частотами собственных, резонансных колебаний молекулярных фрагментов воды, которые возбуждают генерацию соответствующих низко-интенсивных радиоволн [2, 3, 6 - 8]. Их интенсивность связывается с активностью процесса метаболизма, т. е. со скоростью окислительных процессов в клетках, которая определяется скоростью продуцирования конечных продуктов обменных реакций и, конкретно, воды.

Анализ функционирования органов и систем организма на «подступах» к клеточному метаболизму по начальному метаболиту - кислороду, поступающему в биоткани, ранее не проводился. К счастью, предложенная в качестве рабочей модель Менли Роу позволяет использовать частоты резонансной прозрачности воды без принципиальных технических изменений аппаратуры также для оценки участия кислорода в обменных процессах. Однако, надо признать, что

в чистом виде кислородное участие в данном варианте метода спектроскопии выделить не удастся. Объясняется это тем, что амплитуда принимаемого радиометром сигнала радиоотклика пропорциональна радиоизлучению именно на резонансной частоте воды 1 ГГц, и поэтому излучения от поступающего кислорода и свежепродуцированной воды накладываются, но «кислородный» вклад очевиден.

Измерение предложенным методом амплитудных флуктуаций, связанных с интенсивностью кислородного обмена, проводился на разных частях тела человека.

Таблица 1.

Исследуемая среда	%P O ₂ , мм Hg	Диагностируемая топографическая зона	Радиоотклик, В
Выдыхаемый воздух в покое	122	Верхушка правого легкого	2,05
Выдыхаемый воздух после задержки дыхания на 2 мин.	115	Верхушка правого легкого при задержке дыхания	1,8
Поверхность кожи над крупной веной	41	Внутренняя яремная вена	1,91
Поверхность кожи над крупной веной после пережатия	12	Внутренняя яремная вена при пережатии	1,06
Поверхность кожи над крупной артерией	70	Общая сонная артерия	1,32
Поверхность кожи над крупной артерией после пережатия	-	Общая сонная артерия при пережатии	1,07
Над мышцей	22	Двуглавая мышца левого плеча	0,72
Над сухожилием	3	Правое пяточное (Ахиллово) сухожилие	0,34

В таблице 1 приведены сравнительные значения парциальных давлений кислорода, определенных с помощью (кислородных электродов) [13] и амплитудных флуктуаций радиоотклика для соответствующих областей обследования кислородного обмена, измеренные с помощью анализатора спектров. Радиометр измеряет этот сигнал радиоотклика в виде амплитудных флуктуаций в вольтах (см.

табл.1) на промежуточной частоте ~ 1 ГГц при воздействии на нелинейную биосреду гетеродинным сигналом на частоте ~ 65 ГГц. При перестройке сигнала гетеродина можно наблюдать резонансные характеристики кислородного обмена в биосреде.

Максимальное значение амплитудных флуктуаций отсчитывалось от 3 дБ уровня резонансного сигнала от воды радиометра с аппликаторной антенны в виде открытого цилиндрического диэлектрического резонатора, настроенного на собственную частоту 1 ГГц, в котором в качестве диэлектрика используется вода, согласованная с аппликаторной антенной. Облучение (накачка) резонатора происходит на частоте 65 ГГц в атмосферном воздухе экранированной камеры, имеющего температуру $T_0 = 25^{\circ}\text{C}$ (рис.1). По структуре сигнала амплитудной флуктуации судят о состоянии метаболизма в биосреде по кислороду (64 ГГц).

Из сопоставления табличных данных видна корреляция оценки кислородного участия в реакциях метаболизма двумя указанными методами. Кроме того, и это принципиально, отчетливо просматривается вклад кислородных сигналов в общий сигнал радиоотклика. Об этом свидетельствуют следующие факты:

- *отличие радиоизлучений кислородонасыщенной среды – крови и, например, мышечной ткани,

- *уменьшение радиоизлучений при остановке кровотока в сосудах,

- *снижение радиоотклика от легкого при задержке дыхания.

Полученные экспериментальные результаты подтверждают правильность подхода в выборе модели Менли Роу в качестве метода радиофизического анализа участия кислорода в процессах метаболизма в органах и системах организма.

4. Заключение

1. На основе использования нелинейных свойств биосреды в модели Менли Роу предложен метод и аппаратура для анализа участия кислорода в процессах метаболизма.

2. Результаты измерения амплитудных флуктуаций и показания молекулярно-селективных сенсоров, связанных с интенсивностью кислородного обмена в различных частях тела человека, между собой коррелируют.

3. Зависимость амплитуд радиосигналов от кислородной насыщенности биотканей свидетельствует о чувствительности предложенного метода спектрального анализа к кислородной составляющей процессов метаболизма.

4. Предложенные аппаратура и метод спектрального анализа на основе модели Менли Роу, по нашим представлениям, перспективны и могут найти практическое применение для исследования молекулярных спектров и других метаболитов (NO, CO₂ и др.).

Авторы выражают надежду, что анализируемый в работе нелинейный механизм взаимодействия внешних КВЧ-волн с биосредой по модели Менли Роу на частотах молекулярных спектров метаболитов, будет служить важным дополнением к существующим представлениям и, как новый подход, может предсказать и объяснить новые биофизические эффекты.

Литература

1. Девятков Н.Д., Голант М.Б. Бецкий О. В. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. М.: Радио и связь, 1991.

2. Петросян В.И., Гуляев Ю.В., Житенева Э.А., Елкин В.А., Сеницын Н.И. Взаимодействие физических и биологических объектов с электромагнитным излучением КВЧ-диапазона. - Радиотехника и электроника, 1995, т. 40, вып. 1.

3. Петросян В.И., Житенева Э.А., Гуляев Ю. В., Девятков Н.Д., Елкин В.А., Сеницын Н.И. Физика взаимодействия миллиметровых волн с объектами различной природы. - Биомедицинская радиоэлектроника, 1996, № 3 в ж. Радиотехника, 1996, № 9.

4. Бецкий О.В. Пионерские работы по миллиметровой электромагнитной биологии, выполненные в ИРЭ РАН. - Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, 2003, №8.

5. Петросян В.И., Сеницын Н.И., Елкин В. А., Майбородин А.В., Тупикин В.Д., Надежкин Ю.М. Проблемы прямого и косвенного наблюдения резонансной прозрачности водных сред в миллиметровом диапазоне. - Биомедицинская радиоэлектроника, 2000, № 1. - Электронная промышленность. Наука, технологии, из-

деля, 2000, № 1.

6. Петросян В.И., Сеницын Н.И., Елкин В.А., Девятков Н.Д., Гуляев Ю.В., Бецкий О.В., Лисенкова Л.А., Гуляев А.И. Роль молекулярно-волновых процессов в природе и их использование для контроля и коррекции состояния экологических систем. - Биомедицинская радиоэлектроника, 2001, № 5-6.

7. Петросян В.И., Сеницын Н.И., Елкин В.А. Люминесцентная трактовка «СПЕ-эффекта». - Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, 2002, №1.

8. Петросян В.И., Громов М.С., Власкин С.В., Благодаров А.В. Транс-резонансная функциональная топография. Биофизическое обоснование. - Миллиметровые волны в биологии и медицине, 2003, № 1 (29).

9. Майбородин А.В., Креницкий А.П., Тупикин В.Д. и др. Комплекс для исследования тонких структур молекулярных спектров физических и биологических сред. - VII Международная научно-техническая конференции, Воронеж: «Радиолокация. Навигация, связь», 24-26 апреля 2001.

10. Иванов К.П. Современные проблемы дыхательной функции крови и газообмена в легких. - Физический журнал им. И.М. Сеченова, 1992, № 11.

11. Шуб Г. М., Пронина Е. А., Креницкий А. П., Майбородин А. В., Тупикин В.Д., Рытик А.П., Бецкий О.В., Гуляев Ю.В. Воздействие электромагнитного излучения спектра поглощения молекулярного кислорода на рост прокариотических клеток. Сб. докл. «13 Российский симпозиум с международным участием «Миллиметровые волны в биологии и медицине». М. 2003.

12 Царегородцев И.А., Яшин А.А. Автоматический съем и обработка информации об интегративном электромагнитном поле биообъекта. - Физика волновых процессов и радиотехнические системы, 2001, Т. 4. - № 2.

13. Кислякова Л.П., Кисляков Ю.Я., Евдокимов Г.Р., Лазарев М.Е. Универсальный измеритель содержания O_2 в воздухе, жидкостях и биологических тканях. – Научное приборостроение, 2000, том 10, № 3, с.27-34.5. Иваницкий Г.Р. Биофизика на пороге нового тысячелетия: перфторуглеродные среды и газотранспортные кровезаменители. – Биофизика, 2001, том 46, вып.1, с.5-33.

14 Креницкий А.П., Майбородин А.В., Бецкий О.В., Трошин О.Ф., Тупикин В.Д., Киричук В.Ф. Квазиоптический КВЧ-генераторный комплекс моделирования детерминированных шумов для биофизических исследований. Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, 2003, № 2.

15. Майбородин А.В., Креницкий А.П., Тупикин В.Д., Киричук В.Ф., Авдченко В.С. Панорамно-спектрометрический комплекс для исследования тонких структур молекулярных спектров физических и биологических сред. - Биомедицинская радиоэлектроника, 2001. № 8.

16. Годик Э.Э., Гуляев Ю.В. Человек «глазами радиофизики». – Радиофизика, 1991, № 8.

17. Бецкий О.В., Лебедева Н.Н., Котровская Т.И. Стохастический резонанс и проблема воздействия слабых сигналов на биологические системы. - Миллиметровые волны в биологии и медицине, 2002. № 3 (27).

18. Бецкий О.В., Креницкий А.П., Лебедева Н.И., Майбородин А.В., Тупикин В.Д. Биофизические эффекты волн терагерцового диапазона и перспективы развития новых направлений в биомедицинской технологии: Терагерцовая терапия и Терагерцовая электроника. Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, 12. 2003.

19. Козарь А.В., Королев А.Ф., Шевелева Е.Н., Бецкий О.В., Яременко Ю.Г. Формирование интерференционной картины при моделировании воздействия ММ-облучения на многослойную кожную ткань. - Миллиметровые волны в биологии и медицине, 2002, № 3 (27).

20. Яшин А.А. Стохастический резонанс в шумовом спектре клеточных агрегаций, инициированный внешним электромагнитным облучением организма, как механизм активации процессов регуляции свободной энергии. - Физика волновых процессов и радиотехнические системы, 1999, Т. 2, № 3-4.

21. Яшин А.А. Явление стохастического резонанса в биосистемах при воздействии внешнего электромагнитного поля и его роль в регуляции свободной энергии - Physics of the Alive, 2000, v. 8, № 2.

22. Кушнир В.Ф., Ферсман Б.А. Теория нелинейных электрических цепей. – М.: Связь, 1974.

23. Справочник по радиоэлектронике. Под ред.. Куликовского А.А. М.: Энергия, 1967, Том 1.