

УДК 615.47:621.37/39

## ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НОРМАЛЬНЫХ И ОПУХОЛЕВЫХ ТКАНЕЙ В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ

В.В. МУРАВЬЕВ<sup>1</sup>, А.А. ТАМЕЛЮ<sup>1</sup>, Ю.П. ИСТОМИН<sup>2</sup>, Е.Л. ПРОТОПОВИЧ<sup>2</sup>,  
Д.А. ЦЕРКОВСКИЙ<sup>2</sup>, М.О. ДОСИНА<sup>3</sup>, Д.И. МАТВЕЕВ<sup>1</sup>, А.А. ПОПОВ<sup>1</sup>, Д.Ф. МОЛОДКИН<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь

<sup>2</sup>Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии  
им. Н.Н. Александрова  
а.г. Лесной, Минский район, 223040, Беларусь

<sup>3</sup>Институт физиологии Национальной академии наук Беларуси  
Академическая, 28, Минск, 220072, Беларусь

Поступила в редакцию 22 ноября 2016

Выявлены закономерные отличия и отмечены перспективы использования крайне высоких частот для детализации представлений об особенностях спектральных характеристик опухолевых и неопухолевых тканей.

*Ключевые слова:* крайне высокие частоты, спектроскопия, карцинома, карциносаркома Уокера 256, лимфосаркома Плисса.

### Введение

Эффекты воздействия крайне высоких частот (КВЧ) электромагнитных полей на биологические организмы позволяют предположить перспективность исследования механизмов таких полей для разработки диагностического оборудования [1]. Анализируются спектральные характеристики образцов опухолевых тканей мышей и образцов тканей, которые не были подвержены опухолевой инвазии при прохождении через эти ткани миллиметровых волн в диапазоне 28–33 ГГц.

### Методика эксперимента

Спектроскопия была проведена для образцов тканей мышей и крыс с перевивными опухолями: карциносаркомой Уокера (W-256), альвеолярным раком печени РС-1 (RS1), саркомой М-1 (SM1), а также эпидермоидной карциномой легких Льюис (LLC), лимфосаркомой Плисса (LSP) в миллиметровом диапазоне длин волн (28–33 ГГц). Мышей декапитировали, извлекали образцы опухолевой ткани, а в отдаленном от новообразования участке тканей выделяли для сравнения паттерна спектральных сигналов фрагмент мышечной ткани, не подверженный опухолевой инвазии. Биологический материал хранили в формалине при температуре +12°C в течение нескольких суток. Образцы биологических тканей располагали в кювете, которая была ориентирована вертикально по отношению к фланцу измерительного прибора. Размер отверстия во фланце составлял 7,2×3,4 мм. Измерения проводили последовательно циклами от 0,1 до 0,5 с на каждой частоте. Результатом эксперимента является массив данных, характеризующих уровни спектральных составляющих модуляционных сигналов, прошедших через образцы тканей, полученных с использованием преобразования Фурье.

На рис. 1, *а* приведен пример исследования биологического материала мышей с карциносаркомой Уокера (W-256), которых декапитировали и извлекали образцы опухолевой ткани, а также использовали образцы тканей этих мышей, не подверженных опухолевой инвазии. Уровень амплитуд спектральных характеристик в неопухоловой ткани составил 0,15 В, в патологически измененной 0,2 В (рис. 1, *б*). Кроме того первая гармоника затухает быстрее в неопухоловом образце. Такое различие характеристик гармоник у опухолевого и здорового образцов позволяет использовать данный метод для предварительного заключения о наличии опухолевой ткани в биологических образцах.

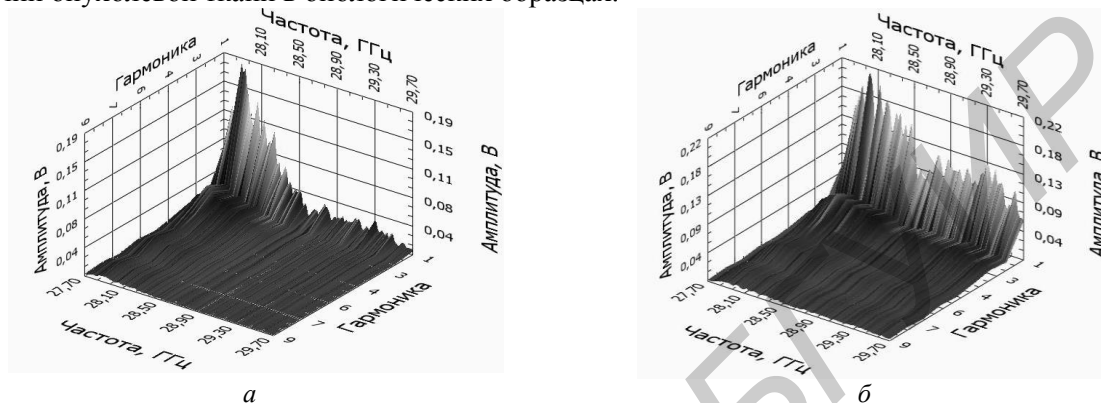


Рис. 1. Трехмерное представление гармоник для частот КВЧ-диапазона в тканях мышей с карциносаркомой Уокера (W- 256): *а* – для неизменной ткани; *б* – для измененной, при различных значениях коэффициента прохождения

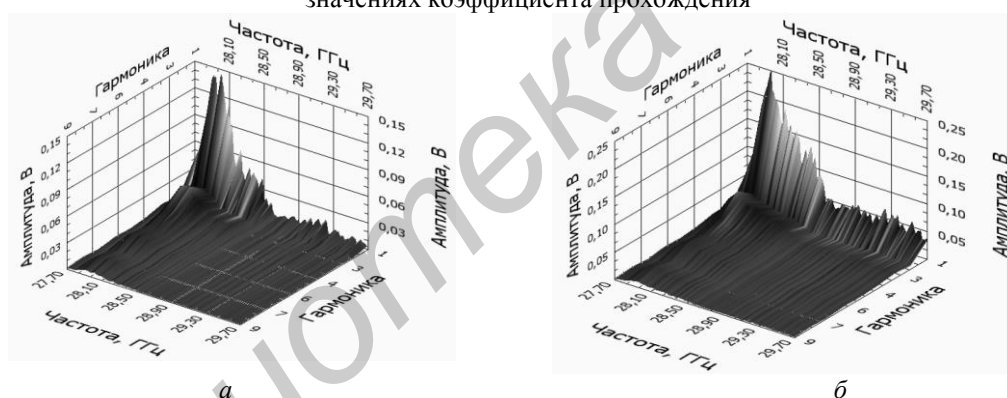


Рис. 2. Трехмерное представление гармоник для частот КВЧ-диапазона в тканях мышей с эпидермоидной карциномой легких Льюис (LLC): *а* – для неизменной ткани; *б* – для измененной, при различных значениях коэффициента прохождения

На рис. 2 приведена типичная картина трехмерного распределения гармоник для крайне высоких частот диапазона для образцов опухолевых тканей самцов мышей линии С<sub>57</sub>Вl<sub>6</sub> с эпидермоидной карциномой легких Льюис (LLC), фиксированных в 10% формалине биологического материала. Анализ установленных зависимостей также как и на рис. 2 выявляет отличие поведения гармонических составляющих в экспериментальной частотной области. Характерная динамика проявляется при изучении патологически измененной ткани. Наличие резких перепадов частот может быть обусловлено взаимодействием электромагнитных волн с образцами тканей и объясняется, так называемым, эффектом стохастического резонанса.

Для установления различий между тканями применен статистический критерий Стьюдента (*t*-критерий). Сравнение выборок проводили на каждой гармонике в отдельности, выборки сформированы попарно из набора значений уровней для каждой гармонической составляющей для измененных и неизмененных тканей. Выборки содержат значения, полученные в процессе измерений в режиме с дискретной перестройкой частоты прохождения электромагнитной волны генератора; *t*-критерий Стьюдента используется для определения статистической значимости различий средних величин. Может применяться как в случаях

сравнения независимых выборок, так и при сравнении связанных совокупностей. Полученное значение *t*-критерия Стьюдента необходимо правильно интерпретировать. Для этого нам необходимо знать количество исследуемых особей в каждой группе ( $n_{и}$  и  $n_{н}$ ). Затем находится число степеней свободы  $\nu$ . После этого определяется критическое значение *t*-критерия Стьюдента для требуемого уровня значимости (например,  $p = 0,05$ ) и при данном числе степеней свободы  $\nu$ .

Затем сравниваются критическое и рассчитанное значения критерия: если рассчитанное значение *t*-критерия Стьюдента равно или больше критического, найденного по таблице [2], делаем вывод о статистической значимости различий между сравниваемыми величинами. Если значение рассчитанного *t*-критерия Стьюдента меньше табличного, значит различия сравниваемых величин статистически не значимы. В противном случае различия имеют существенную значимость. Критическое значение коэффициента *t* определяли по формуле [2]:

$$t = \frac{\bar{X}_{и} - \bar{X}_{н}}{\sqrt{\frac{s_{и}^2}{n_{и}} + \frac{s_{н}^2}{n_{н}}}}, \tag{1}$$

где  $\bar{X}_{и}$  и  $\bar{X}_{н}$  – средние значения для выборок в группах измененных «И» и неизменных «Н» тканей, которым соответствуют выборки в полосе частот свипирования частоты генератора;  $s_{и}^2$  и  $s_{н}^2$  – дисперсии данных в группах измененных и неизменных тканей;  $n_{и}$ ,  $n_{н}$  – объемы выборок.

Число степеней свободы определяется как  $\nu = (n_{и} + n_{н} - 2)$ .

### Результаты и их обсуждение

На рис. 3 приведен график, отражающий результаты экспериментальных исследований для образцов опухолевых тканей самцов мышей линии C<sub>57</sub>Bl<sub>6</sub> с эпидермоидной карциномой легких Льюис. На графике приведена зависимость рассчитанного по экспериментально полученным данным коэффициента *t* от частоты. Группы для статистического анализа для данного типа тканей были сформированы 12 парами, полученными в разное время. При числе степеней свободы  $\nu = (n_{и} + n_{н} - 2) = 12 + 12 - 2 = 22$ , для уровня значимости равного  $\alpha = 0,05$  (вероятность выявить различия там, где их нет), критическое значение коэффициента *t* составляет 2,074; для  $\alpha = 0,10$   $t = 1,717$ . Таким образом, различия между группами измененных и неизменных тканей при уровне значимости 0,05 являются статистически значимыми на частоте 28,38 ГГц ( $t = 2,34$ ), при уровне значимости 0,1 на частотах 28,12, 28,21, 28,74, 28,87 ГГц. Таким образом, существенные различия между измененной и неизменной тканями имеются на установленных частотах и, таким образом, можно сделать вывод о том, что возможно применение КВЧ-волн для диагностики заболеваний.

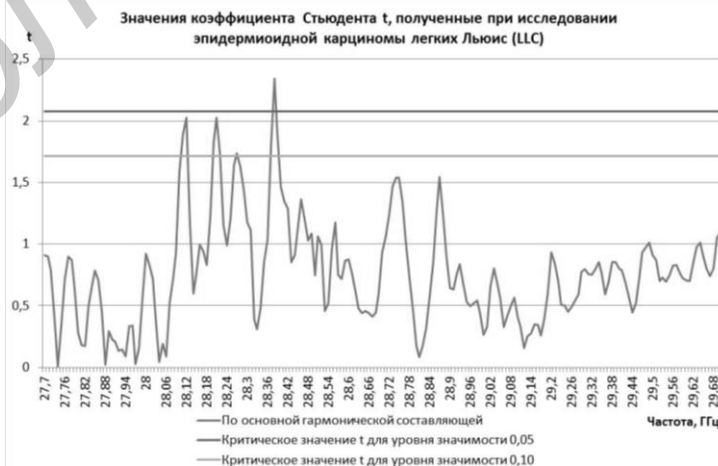


Рис. 3. Критические значения коэффициента *t*, полученные при исследовании эпидемиоидной карциномы легких Льюис в полосе частот 27,7–30 ГГц

### Заключение

В результате проведенных исследований выявлены некоторые отличия спектральных характеристик нормальных и опухолевых тканей. Обнаружен небольшой сдвиг по частоте амплитудно-частотной характеристики при исследовании здоровой и опухолевой тканей. Определены частоты для некоторых клеточных культур, на которых выявлены существенные отличия поведения частотных характеристик и уровней коэффициента прохождения КВЧ-волн в тканях с карциномой и без нее. Все это позволяет выявить опухоли на ранней стадии.

### STUDY OF SPECTRAL CHARACTERISTICS OF NORMAL AND TUMOR TISSUES IN MILLIMETER RANGES FREQUENCY

V.V. MURAV'EV, A.A. TAMELO, Yu.P. ISTOMIN, E.L. PROTOPOVICH,  
D.A. TZERKOVSKY, M.O. DOSINA, D.I. MATVEEV, A.A. POPOV, D.F. MOLODKIN

### Abstract

The regularities of differences are identified and the prospects marked for the use of extremely high frequency to detail representations about the features of the spectral characteristics of the tumor and non-tumor tissues.

*Keywords:* extremely high frequency, spectroscopy, carcinoma, carcinosarcoma Walker 256, lymphosarcoma Plissa.

### Список литературы

1. Хотянович М.О., Муравьев В.В., Тамело А.А. и др. // Сб. тез. науч. докл. на VIII МНТК «Медэлектроника-2014». Минск, 2014. С. 232–235.
2. Гланц С. Медико-биологическая статистика. М., 1998.

УДК 004.353.2-026.66:549.623.59

### КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ВСПУЧЕННОГО ВЕРМИКУЛИТА ДЛЯ ЭКРАНОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

М.А. ДМИТРИЕВ, С.Н. ПЕТРОВ, Т.А. ПУЛКО

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 22 ноября 2016

Приведены результаты исследования композиционных материалов для экранов электромагнитного излучения на основе вспученного вермикулита. Получены экранирующие характеристики сформированных конструкций на основе композиционных материалов в диапазоне частот 0,7...17 ГГц.

*Ключевые слова:* композиционный экранирующий материал, эффективность экранирования, вспученный вермикулит, защита обслуживающего персонала.