

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА НА БАКТЕРИАЛЬНУЮ СУСПЕНЗИЮ ТЕСТ-ШТАММА

Д. Б. КУЗНЕЦОВ\*, И. Л. ВОЛЬХИН\*\*, И. В. ЛУНЕГОВ\*\*

\* Пермская государственная фармацевтическая академия Минздрава  
России, 614990, Пермь, ул. Полевая, 2

\*\* Пермский государственный национальный исследовательский  
университет, 614990, Пермь, ул. Букирева, 15

В настоящее время проводятся междисциплинарные исследования влияния СВЧ-излучения миллиметрового диапазона на живые организмы. В работах [1–4], представлены результаты исследований воздействия низкоинтенсивного (нетеплового) СВЧ- и ИК-излучений на микроорганизмы. В настоящей работе исследованы эффекты воздействия СВЧ-излучения низкой интенсивности на реакцию ингибирования и/или стимуляции люминесценции индикаторного штамма *Escherichia coli lum*<sup>+</sup>.

Для проведения экспериментов были подготовлены пробы индикаторного штамма люминесцентных бактерий (проба) *E. coli lum*<sup>+</sup>. При этом была выполнена регидратация и сделано разведение полученной бактериальной суспензии с помощью воды очищенной, имеющей рН 7,0±0,2 и охлажденной до температуры (6±2)°С. Затем разведенную индикаторную культуру выдерживали не менее 30 мин при температуре (22±2)°С.

В качестве объектов исследования выступали пробы, облучаемые СВЧ-излучением миллиметрового диапазона с  $\lambda = 8.14, 4.9$  и  $5.6$  мм. Схема экспериментальной установки для облучения проб на длине волны  $\lambda = 8.14$  мм показана на рис. 1. Источником СВЧ-излучения служил генератор Г4-156 на диоде Ганна 1, обеспечивающий генерацию плоскополяризованного излучения с  $\lambda = 8,14$  мм мощностью порядка 20 мВт в режиме непрерывной генерации. СВЧ-сигнал с генератора 1 через развязывающий ферритовый вентиль 2, аттенюатор 3, согласующий Е-Н трансформатор 4 поступал на рупорную СВЧ-антенну 5 с раскрывом прямоугольной формы  $72 \times 34$  мм. Линза 6 формировала пучок СВЧ-излучения и направляла его на полимерную (полиэтиленовую) пробирку круглого сечения с пробой, установлен-

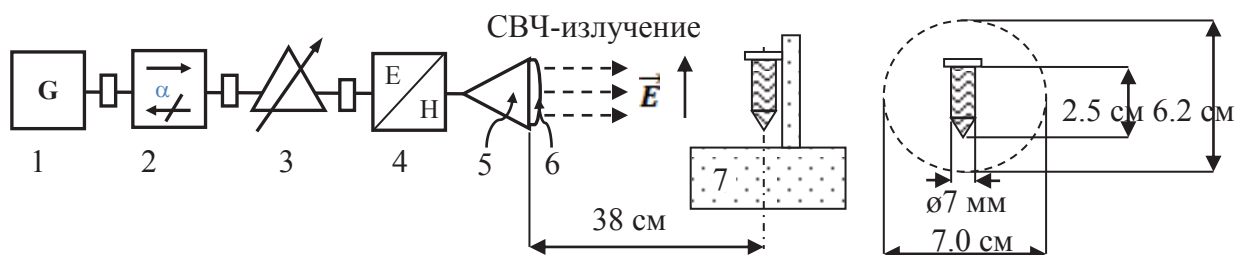
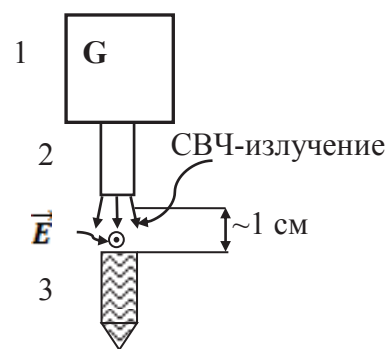


Рис. 1. Схема установки для облучения проб на  $\lambda = 8.14$  мм

ную на пенопластовой подставке 7, прозрачной для СВЧ-излучения. Диэлектрическая линза 6 формировала плоскопараллельный пучок СВЧ-излучения (волна  $H_{10}$ ). Вектор напряженности электрического поля  $E$  был ориентирован вертикально. Сечение СВЧ-пучка на уровне половинной мощности и пробирка с пробой представлены в левой части рис. 1. Суммарные потери энергии, включающие в себя: потери в антенно-волноводном тракте, рассеяние за пределы сечения на уровне половинной мощности и отражение от поверхности полимерной пробирки составляли порядка 30% генерируемой мощности, таким образом поток мощности СВЧ-излучения, воздействовавший на исследуемую пробу составлял порядка  $0.4 \text{ мВт/см}^2$ . Расстояние от раскрыва антенны до центра пробирки составляло 38 см, что с учетом применения СВЧ-линзы обеспечивало работу в дальней волновой зоне антенны.

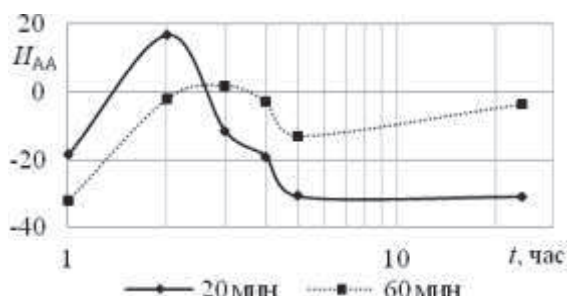
На рис. 2 изображена схема установки для облучения проб СВЧ-излучением с  $\lambda = 5.6 \text{ мм}$  и  $4.9 \text{ мм}$ . В качестве генератора 1 был использован аппарат “МИЛТА-КВЧ” НПО “Космического приборостроения” (Россия) с выходной мощностью 10 мВт в режиме непрерывной генерации. СВЧ-излучение (волна  $H_{11}$ ) распространялось по волноводу круглого сечения 2 и в виде расходящейся волны облучало пробирку с пробой 3. Расстояние между раскрывом волновода и пробиркой было выбрано порядка 1 см, что с одной стороны обеспечивало работу в дальней зоне  $R \geq 2d^2 / \lambda$ , где  $d$  – диаметр раскрыва волновода, для  $\lambda = 5.6 \text{ мм}$   $d = 4.5 \text{ мм}$  и  $R = 7.2 \text{ мм}$ ; для  $\lambda = 4.9 \text{ мм}$   $d = 4.0 \text{ мм}$  и  $R = 6.5 \text{ мм}$ , с другой стороны пробирка находилась внутри сечения СВЧ-пучка на уровне половинной мощности, которое по нашим расчетам составляло порядка 1 см. Вектор напряженности электрического поля  $E$  был ориентирован горизонтально. Внутри сечения СВЧ-пучка на уровне половинной мощности волна  $H_{11}$  по структуре близка к волне  $H_{10}$ .



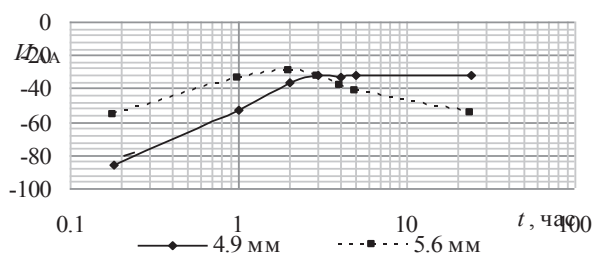
**Рис. 2.** Схема установки для облучения проб СВЧ-излучением с  $\lambda = 5,6 \text{ мм}$  и  $4,9 \text{ мм}$

Определение биолюминесценции под воздействием СВЧ-излучения в отношении энтеробактерий проводили с помощью экспресс-теста ингибирования биолюминесценции индикаторного штамма *Escherichia coli lum*<sup>+</sup> [5]. Уровень гашения (стимуляции) свечения индикаторной культуры определяли с помощью люминометра “Биотокс-6” ООО “НЕРА-С” (Россия) через фиксированные промежутки времени после облучения: 10 мин, 1, 2, 3, 4, 5 и 24 ч. Эффект воздействия излучения выражали в виде цифрового показателя  $I_{AA} = (x_1 - x_2) / x_1$ , где  $x_1$  и  $x_2$  – интенсивности свечения

индикаторного штамма без и после облучения соответственно [5].



**Рис. 3.** Влияние СВЧ-излучения на биолюминесценцию *E. coli lum<sup>+</sup>*. Время экспозиции 60 мин



**Рис. 4.** Влияние СВЧ-излучения на биолюминесценцию *E. coli lum<sup>+</sup>*. Время экспозиции 20 и 60 мин

При проведении биолюминесцентного теста было выявлено несколько вариантов развития реакции ингибирования и стимулирования свечения индикаторного штамма *E. coli lum<sup>+</sup>* после воздействия на него ЭМИ (рис. 3 и 4). Установлено, что СВЧ-излучение сразу повышает люминесценцию сенсора, особенно на  $\lambda = 4.9$  мм более 80% (рис. 3). При уменьшении времени экспозиции до 20 мин при облучении на  $\lambda = 8.14$  мм уровень биолюминесценции значительно увеличился через 5 часов.

При уменьшении времени экспозиции до 20 мин при облучении на  $\lambda = 8.14$  мм уровень биолюминесценции значительно увеличился через 5 часов. В опыте с СВЧ-излучением на  $\lambda = 4.9$  мм уровень свечения в течение первых 3-х часов монотонно снижался до  $I_{AA} = -33$ , а затем оставался постоянным. На  $\lambda = 5.6$  мм в течение первых 2-х часов наблюдалось незначительное снижение  $I_{AA}$ , которое затем монотонно повышалось до  $I_{AA} = -55$  спустя 24 ч после экспозиции (рис. 3). При воздействии СВЧ-излучением наблюдалась стимуляция свечения. Показано, что после 24 ч выдержки облученные на  $\lambda = 4.9$  и 5.6 мм пробы сохраняли стимуляцию свечения (рис. 3). Облучение на  $\lambda = 8.14$  мм с временем экспозиции 60 мин, наоборот приводило к спаду интенсивности свечения до уровня контрольного образца (рис. 4).

Анализ динамики биолюминесценции тест-штамма после облучения СВЧ-излучением позволяет сделать вывод о его значительном адаптационном потенциале и о специфичности развития реакции стимуляции, обусловленной следующими факторами: длиной волны и временем экспозиции. Сопоставляя полученные результаты, следует отметить наибольшую чувствительность тест-штамма к СВЧ-излучению на  $\lambda = 4.9$  и 5.6 мм с 60-ти минутной экспозицией.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что воздействие СВЧ-излучения на биолюминесценцию связано с избирательным по-

глощением ЭМИ. Низкоэнергетические внешние воздействия существенно влияют на биохимические процессы, включая весь энергетический обмен микроорганизмов в целом.

Полученные результаты согласуются с результатами других авторов и свидетельствуют о целесообразности использования СВЧ-излучений миллиметрового диапазона низкой интенсивности при проведении технологических процессов на биофармацевтическом производстве.

Миллиметровые ( $\lambda = 4.9; 5.6$  и  $8.14$  мм) низкоинтенсивные излучения оказывают выраженный стимулирующий эффект на люминесценцию сенсора индикаторного штамма *Escherichia coli lum<sup>+</sup>*. Влияние излучения на тест-штамм носит пролонгированный характер.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов Д.Б. Молекулярные механизмы воздействия инфракрасного излучения на микроорганизмы // *Фундаментальные исследования*. 2013. № 4 (часть 2). С. 414–418.
2. Кузнецов Д.Б. Исследование воздействия низкоинтенсивного СВЧ электромагнитного поля на микролюминесценцию и оптическую плотность питательной среды MRS-1 // *Современные проблемы науки и образования*. 2013. № 2; URL <http://www.science-education.ru/108-9008> (дата обращения: 21.05.2013).
3. Кузнецов Д.Б. Перспективы применения электромагнитных излучений крайне высокой частоты малой мощности в фармации // *Фундаментальные исследования*. 2012. № 10 (часть 2). С. 400–404.
4. Кузнецов Д.Б. Физико-химические механизмы воздействия крайне-высокочастотного излучения на микроорганизмы // *Современные проблемы науки и образования*. 2013. № 1; URL: <http://www.science-education.ru/107-8226> (дата обращения: 28.01.2013).
5. Способ определения антагонистической активности пробиотиков. Патент на изобретение № 2187801 от 20.08.2002 г. / Несчисляев В.А., Пшеничников Р.А., Арчакова Е.Г., Чистохина Л.П., Фадеева И.В. (Россия) № 2000118391/14. Заявл. 10.07.00. Оpubл. 20.08.02. Бюл. № 23.
6. Романовский Ю.М, Тихонов А.Н. Молекулярные преобразователи энергии живой клетки. Протонная АТФ-синтаза – вращающийся молекулярный мотор // *УФН*. 2010. Т. 180. № 9. С. 931–956.
7. Ling, G.N. A New Theoretical Foundation for the Polarized-Oriented Multi-layer Theory of Cell Water and for Inanimate Systems Demonstrating Long-range Dynamic Structuring of Water Molecules // *Physiol. Chem. Phys. Med. NMR*. 2003. Vol. 35, № 1. P. 91–130.