

ПОЧЕМУ НЕ ВСЕГДА ВОСПРОИЗВОДИМЫ «РЕЗОНАНСЫ» ДЕВЯТКОВА — ГРЮНДЛЕРА?

(Представлено академиком АН УССР М. П. Лисицей)

В 1968—69 г. Веббом [1, 2] были опубликованы первые экспериментальные результаты по обнаружению особенностей (типа резонансных) в спектрах поглощения электромагнитных волн миллиметрового диапазона клеточными структурами и простейшими микроорганизмами. Именно тогда в нашей стране начали разворачиваться исследования по изучению спектров действия миллиметрового электромагнитного излучения на такие объекты. Оказалось, что его потоки на некоторых частотах заметно изменяют функционирование биообъектов даже при столь низких интенсивностях, когда изменение температуры облучаемой среды меньше, чем флуктуации теплового фона ($< 0,1^\circ\text{C}$). Первыми эффект обнаружили харьковские исследователи [3, 4], но уже с 1972 г. работы в этом направлении в СССР координирует акад. Н. Д. Девятков [5]. За границей экспериментальные исследования в этой области связывают с именами Вебба, Грюндлера, Кельмана [6, 7, 8].

В пассивной конденсированной среде невозможны дискретные состояния «одночастичной» природы [9], и потому острорезонансные спектры действия с добротностью больше 1000 естественно связываются со спецификой живого. Х. Фрёлех оценил возможную информационную роль электромагнитных характеристик мембран и других клеточных структур и обосновал идею когерентных колебаний в биологических системах [10].

Универсальность такого подхода для разработки физических основ устойчивости живых систем доказана формулировкой И. Пригожина принципов неравновесной термодинамики для открытых нелинейных сред (что обычно связывается с введенным им термином «диссипативные структуры») [11] и выработкой в рамках синергетики универсальных критериев самоорганизации [12]. Прямым использованием этого подхода к фундаментальной биологии явились известные результаты Пушинской школы по автоволновым процессам в миокарде, объяснение электрической активности мозга, успехи моделирования процессов дифференциации клеток и формообразования на примере крыла дрозофилы [13]. На методологическом уровне сформулированы условия «сшивания» подходов квантовой физики и неравновесной термодинамики на объектах, названных устойчивыми диссипативными структурами (ядро, атом, молекула, живая система) [14].

Однако многочисленные эксперименты показали, что утверждение о том, что живые системы острорезонансным образом реагируют на электромагнитное излучение мм-диапазона нетепловой интенсивности не корректно. При тождественности, казалось бы, всех условий опытов в одних случаях наблюдается статистически достоверная «резонансная» реакция (иногда с перепадами на несколько порядков) [6, 15], а в других (столь же достоверно) эффекта нет [6]. Показательно, что даже в лаборатории Грюндлера эффект наблюдался только на некоторых из многих идентичных установках [9]. Это заставляет предположить, что *in vivo* является лишь необходимым, но недостаточным условием существования особенностей в спектрах действия электромагнитных полей (ЭМП) мм-диапазона на биообъекты.

Из анализа большого массива таких данных следует, что указанные особенности (которые мы оцениваем как проявление собственных характеристических частот организма) наблюдаются при выполнении двух условий: наличия функциональных нарушений и осуществления воздействия через особые области (биологически активные точки

(БАТ)). Кстати, наличие таких областей (как было показано на различных моделях и реальных объектах) — характерный признак любой самоорганизованной пространственно-временной структуры [17].

Ниже излагаются результаты экспериментов на одноклеточных организмах. Действительно, наиболее воспроизводимыми (по крайней мере, качественно) оказались результаты Вебба на λ -профагах, введенных в бактерии кишечной палочки *E. coli* (рис. 1), тогда как результаты на дрожжах (*Saccharomices cerevisial*) в стандартных условиях

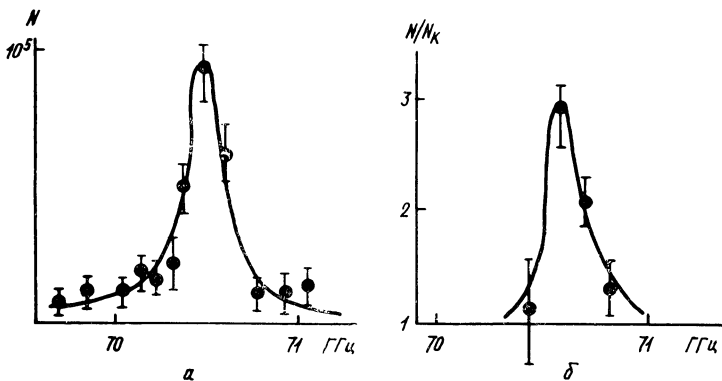


Рис. 1. Частотная зависимость индукции λ -профага в клетках *E. coli*:

а — из [15]; б — данные Моск. инж.-физ. ин-та. N — число информационных центров на 10^7 клеток.

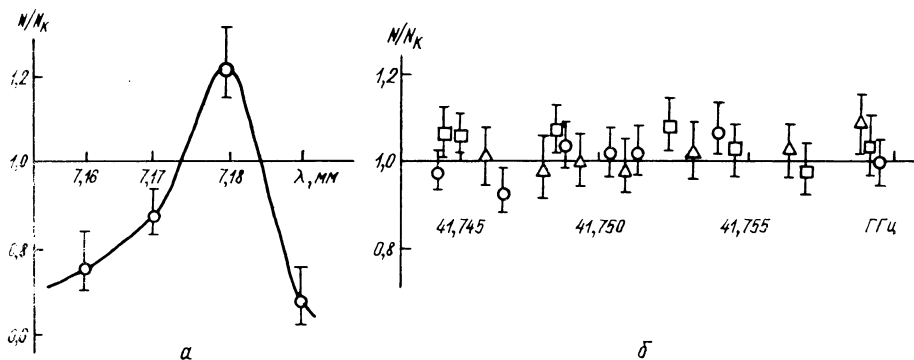


Рис. 2. Частотная зависимость интенсивности деления клеток дрожжевой культуры:

а — из [5]; б — данные Моск. инж.-физ. ин-та.

плохо воспроизводимы (рис. 2). В первом случае имеется явное нарушение наследственного аппарата клетки, то есть «функциональное нарушение». Но почему все же иногда удается зарегистрировать особенности и в спектрах действия ЭМП мм-диапазона на вроде бы «здоровых» клетках? И о каких «особых» точках для мм-диапазона может идти речь в одноклеточных микроскопических объектах? Ответы на эти вопросы имеют фундаментальное значение для формирования основ физики живой материи.

Принципиально важным в этом аспекте явилось утверждение о том, что практически все бактерии ведут жизнь многоклеточных существ [18], обладающих скоординированной спецификой поведения, размножения, перемещения, поиска пищи, реакции на внешние раздражители и т. д. Уже выделены гены, ответственные за такое макроскопическое поведение колоний одноклеточных. В связи с этим, приобретает совершенно определенный смысл и понятие «функциональное нарушение» и «особые точки организма».

В 1973 г. были опубликованы [5] первые экспериментальные результаты по резонансному характеру частотной зависимости протектор-

ного действия ЭМП мм-диапазона по отношению к клеткам костного мозга мышей, подвергнутых рентгеновскому облучению. Несмотря на очевидную перспективность этих исследований, следующий важный шаг здесь был сделан только в 1983 г., после выяснения роли критических областей организма (биологически активных точек) в механизме избирательного восприятия им внешних электромагнитных полей. Оказалось, что разным участкам тела животного соответствуют разные длины волн, облучение на которых дает оптимальный биологический

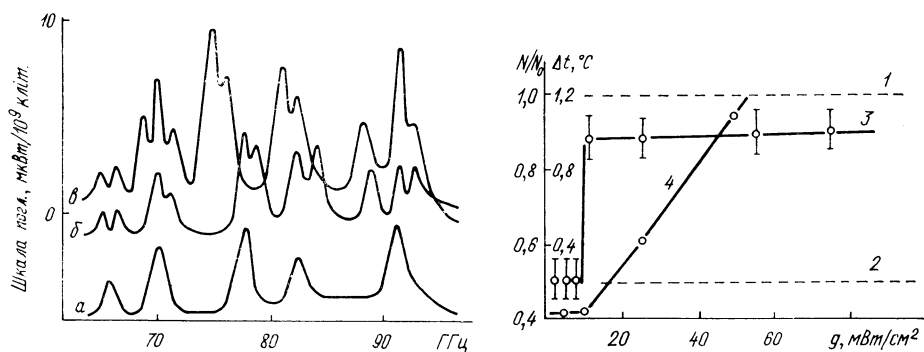


Рис. 3. Микроволновый спектр поглощения [8]:

a — ткань нормальной молочной железы; *b* — ткань молочной железы из правой «здоровой» груди; *в* — ткань молочной железы из левой груди с раковой опухолью размером 2×3 см.

Рис. 4. Зависимость изменения количества клеток костного мозга (отн. ед.) и температуры облученного животного (мышь) от плотности потока мощности [5]: *1* — контроль; *2* — воздействие X-лучами; *3* — протекционное действие СВЧ; *4* — изменение температуры кожи. *g* — плотность потока мощности.

эффект [19]. Естественно, что без учета этого факта наблюдение острорезонансной частотной зависимости биоэффекта может носить только случайный, флуктуационный характер.

В работе сделан и другой вывод — не выявлено длин волн, соответствующих достоверному отрицательному биологическому эффекту. Таким образом, под действием низкоинтенсивного ЭМП мм-диапазона резонансным способом не просто изменяется функциональная активность организма, а восстанавливается нарушенный режим функционирования. Поэтому, изучая спектры действия на нормально функционирующие организмы, нельзя обнаружить существования собственных характеристических частот. Их обнаружение, очевидно, связано с появлением сателлитов при расщеплении линий в спектрах поглощения ЭМП мм-диапазона, наблюдаемых Веббом на профагах и раковых клетках (рис. 3) [18].

Много споров в научных кругах шло вокруг термина «нетепловое воздействие» применительно к рассматриваемой категории опытов. Действительно (рис. 4) [5], биоэффект возникает при тех интенсивностях облучения (~ 10 мВт/см²), при которых уже заметен рост температуры кожной поверхности.

Если же ЭМП мм-диапазона воздействуют через биологически активные точки, то чувствительность системы качественно возрастает: нижний порог для организмов с функциональными нарушениями пока экспериментально установить не удалось, но есть основания считать, что он в ряде случаев заметно ниже даже величины 10^{-8} Вт/см², приведенной в работе [20].

SUMMARY. Reasons which induce unstable reproducibility of resonances in spectra where millimetric-wave-band electromagnetic fields act on bioobjects are analyzed. It is substantiated that the assertion on the acute-resonance (in frequency) response of all the living systems to the low-intensity electromagnetic field of the mentioned band is unreasonable. Conditions necessary to observe such peculiarities in the spectra of actions are formulated.

1. *Webb S. J., Dodds D. D.* // Nature.— 1968.— N 218.— P. 374.
2. *Webb S. J., Both A. D.* // Ibid.— 1969.— N 222.— P. 1199.
3. *Залюбовская Н. П., Чепень Л. М., Шахбазов В. Г.* Влияние миллиметровых, субмиллиметровых волн и излучений лазера на развитие *Drosophila melanogaster* // Вестн. Харьков. ун-та. Сер. биол.— 1970.— № 39.— Вып. 2.— С. 42—44.
4. *Залюбовская Н. П.* К оценке действия микроволн миллиметрового и субмиллиметрового диапазона на различные биологические объекты: Автореф. дис. ... канд. биол. наук.— Днепрпетровск, 1970.— 15 с.
5. *Девятков Н. Д.* Влияние электромагнитного излучения длин волн миллиметрового диапазона на биологические объекты // Успехи физ. наук.— 1973.— 110, № 3.— С. 452—469.
6. *Grundler W., Keilmann F., Fröhlich H.* // Phys. Lett.— 1977.— 62A.— P. 463.
7. *Keilmann F., Grundler W.* Nonthermal resonant action of millimeter microwaves on yeast growth // Nonlinear electrodynamics in biological systems / Ed. by W. R. Adey and A. F. Lawrence.— Plenn. Press, 1984.— 59.— P. 64.
8. *Webb S. J.* Nonlinear phenomena in bioenergetics and oncology as seen in 25 years of research with millimeter microwaves raman spectroscopy // Ibid.— P. 549.
9. *Ситко С. П., Сугаков В. И.* Роль спиновых состояний белковых молекул // Докл. АН УССР. Сер. А.— 1984.— № 6.— С. 63.— 65.
10. *Fröhlich H.* Coherent excitation in active biological systems // Modern Bioelectrochemistry / Ed. by F. Gutmann and H. Keyzer.— Plenn. Press, 1986.— P. 241—261.
11. *Николис Г., Пригожин И.* Самоорганизация в неравновесных системах.— М.: Мир, 1979.— 380 с.
12. *Хакен Г.* Синергетика.— М.: Мир, 1980.— 395 с.
13. *Белинцев Б. Н.* Диссипативные структуры и проблемы биологического формообразования // Успехи физ. наук.— 1983.— 141, № 1.— С. 55—76.
14. *Sitko S. P.* A physical criterion of stable integrity of selforganizing systems // VIII Intern. congress od logic, methodology and philosophy of science, Moscow, 17—22 Aug., 1987.— Moscow: Abstracts, 1987.— V. 2.— P. 8—11.
15. *Webb S. J.* // Phys. Lett.— 1979.— 73A.— P. 145.
16. *Furia L., Hill D. W., Gundhi O. P.* Transactions on biomedical Engineering // IEEE.— 1986.— BME-33, N 111.— P. 993—999.
17. *Структуры в нелинейных средах* / С. П. Курдюмов, А. А. Самарский, Г. Г. Малинецкий, А. Б. Потапов / Компьютеры и нелинейные явления.— М.: Наука, 1988.— С. 5—43.
18. *Шапиро Д. А.* Бактерии как многоклеточные организмы // В мире науки.— 1988.— № 8.— С. 46—54.
19. *Эффекты нетеплового воздействия миллиметрового излучения на биологические объекты* / Л. А. Севастьянова, М. Б. Голант, Т. Б. Реброва и др.— М.: Ин-т радиоэлектроники АН СССР, 1983.— С. 34—37.
20. *Медико-биологические аспекты миллиметрового излучения* / В. Н. Волченко, Н. Д. Колбун, Б. Е. Лобарев и др.— Там же, 1987.— С. 79—85.