

## ФИЗИОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ

УДК 579, 262:57.083.13, 537.868

### НЕИНВАЗИВНАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА РЕАКЦИИ СИСТЕМЫ НА ЭМП ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

Р.Р. Асланян, Е.С. Бабусенко<sup>1</sup>, Ю.Н. Королев

(кафедра физиологии микроорганизмов; e-mail: lbabus@mail.ru)

Методом неинвазивного анализа в неполяризованном свете получены характеристики основных биохимических компонентов поверхностных структур и целых клеток одноклеточных зеленых водорослей *D. tertiolecta* и *T. viridis* до и после воздействия электромагнитного поля (ЭМП) промышленной частоты. Показаны принципиальные различия клеток культур водорослей к воздействию ЭМП, проявляющиеся в изменении основных биохимических компонентов и градиентов их концентраций. Как правило, эти изменения приводят к трансформации метаболизма.

**Ключевые слова:** неинвазивный анализ, спектральные характеристики, градиент концентраций, электромагнитное поле промышленной частоты.

Биосфера Земли в настоящее время подвергается нарастающему антропогенному воздействию. При современном высокоинтегрированном обществе вмешательство в природу грозит стать глобальной опасностью для человечества. Важным фактором, воздействующим на живую систему и влекущим за собой усиление электромагнитных загрязнений, является быстрый рост количества и мощностей источников электромагнитных полей.

Спектр частот электромагнитного излучения очень широк и охватывает диапазон волн от крайне низкочастотного (3–30 Гц) до ионизирующего излучения ( $3 \cdot 10^{18}$ – $3 \cdot 10^{21}$  Гц). Промышленные частоты 50–60 Гц являются зоной электромагнитных полей (ЭМП), в которой постоянно находится население и другие биологические объекты крупных городов. Источником излучения ЭМП промышленной частоты является электропроводка квартир, бытовая электротехника, трансформаторы, системы жизнеобеспечения зданий, линии высоковольтных электропередач (ЛЭП), все виды электротранспорта. Источники ЭМП промышленной частоты, как правило, оказывают отрицательное воздействие на человека, животных, культурные и дикие растения, насекомых и микроорганизмы [1].

В литературе гораздо больше сведений о воздействии сверхвысокочастотных и крайне высокочастотных волн (КВЧ) в связи с тем, что сроки проявления эффекта действия низкочастотных волн ЭМП промышленной частоты имеют отдаленные последствия.

Важным свойством ЭМП промышленной частоты является накопление биологического эффек-

та в условиях длительного многолетнего воздействия (кумуляция биоэффекта). Результат этого — рождение детей с физическими недостатками и онкологическими заболеваниями [2, 3]. Показано, что потенциальная опасность ЭМП часто имеет скрытый характер. Последствия могут проявиться через месяцы и даже годы. При длительном контакте человека с ЭМП промышленной частоты на производстве и в быту возникает опасность развития таких заболеваний, как хроническая лейкемия, рак молочной железы, рак головного мозга и др. Отмечается существенная корреляция продолжительного воздействия ЭМП на производстве с развитием рака и лейкемии [1].

Основными видами взаимодействия ЭМП с живыми системами являются: влияние электромагнитных процессов во внешней среде, участие внутренних электромагнитных процессов в жизнедеятельности организмов и электромагнитные взаимосвязи между организмами. Перемены, происходящие в системе под воздействием среды обитания, носят приспособительный характер. Однако адаптационные возможности системы не безграничны. В тех случаях, когда уровень среды обитания приближается к пределу адаптационных возможностей системы, наступает метаболический регресс [4].

По-прежнему важным является исследование воздействия ЭМП на поверхностные структуры клетки, исследуются первичные физико-химические реакции, в результате которых формируется окончательный биоэффект на уровне организма. Было показано, что резонансное воздействие ЭМП нетеплового уровня может привести к серьезным функциональным

<sup>1</sup> РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва.

нарушениям в системе. Благодаря гетерогенной структуре биологической ткани, различающейся по своим физическим свойствам, действие на нее внешнего поля является избирательным. Наиболее интенсивное взаимодействие излучения происходит с теми участками ткани, в которых характерны процессы, обусловленные внутримолекулярными силами, сравнимые с периодом изменения поля. Такими структурными областями являются клеточные мембраны, в которых происходит наибольшее поглощение энергии. В них меняется упорядоченность структуры, происходят фазовые превращения, сопровождающиеся нарушениями функциональных способностей. При повреждении поверхностных структур происходит модификация клеточных ферментов, что приводит к сдвигу в направлении и скорости процессов метаболизма [5].

Индикатором состояния живой системы должна явиться динамика изменения градиентов, их скоростей и направлений, пространственной и временной организации, как материального носителя "состояния" организма, учитывающая глубокую общность и взаимосвязь морфологии, физиологии и биохимии клеток [4].

Целью работы было получение сведений о параметрах основных биохимических компонентов и их градиентов в поверхностных структурах и целой неразрушенной клетке после воздействия ЭМП. Обследовались клетки инокулята и культуры после 30 сут роста. Зеленые одноклеточные водоросли являются важным объектом современной биотехнологии. Их используют в качестве тест-объектов для оценки экологического состояния окружающей среды, а также для приготовления ценных лекарств, очистки сточных вод, бытовых и производственных отходов.

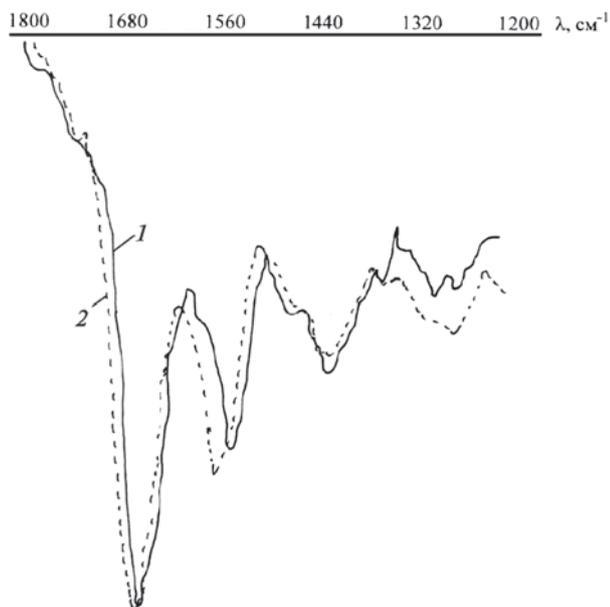


Рис. 1. Спектры поверхностных структур клеток культуры *D. tertiolecta* в неполяризованном свете: 1 — контроль; 2 — опыт

## Объекты и методы

Водоросли *D. tertiolecta* и *T. viridis*, находящиеся в стационарной фазе, в стеклянных ампулах помещали в соленоид для облучения. Водоросли облучали в течение 6 ч. После облучения суспензии водорослей в качестве инокулята вносили в колбы с питательной средой и инкубировали в течение 30 сут при 20° освещенности 3000 лк.

В качестве источника электромагнитных излучений использовался соленоид с напряженностью поля (H) 1400 А/м, частота переменного низкочастотного электромагнитного поля составляла 50 Гц.

Для анализа живых неразрушенных клеток в ИК диапазоне (область 1800—1200 см<sup>-1</sup>) использовали неинвазивный метод многократно нарушенного полного внутреннего отражения (МНПВО) [6]. В неполяризованном свете метод МНПВО обеспечивает нативное исследование объектов и их полойные характеристики, а также может дать информацию о наличии биохимических компонентов и степени их концентрации, идентифицируемых по их спектральным характеристикам в заранее определенном, измеряемом слое клетки.

Для наблюдения за кинетикой фотоиндуцированных окислительно-восстановительных превращений Р700 реакционного центра фотосинтеза I использовали радиоспектрометр ЭПР РЭ-1307.

## Результаты и обсуждение

В поверхностных структурах клеток *D. tertiolecta* после 30 сут культивирования заметных изменений не наблюдается (рис. 1). В ИК спектрах всей клетки *D. tertiolecta* наблюдаются небольшие изменения в области 1240 см<sup>-1</sup>, соответствующей, как считается [7], нуклеиновым кислотам (рис. 2).

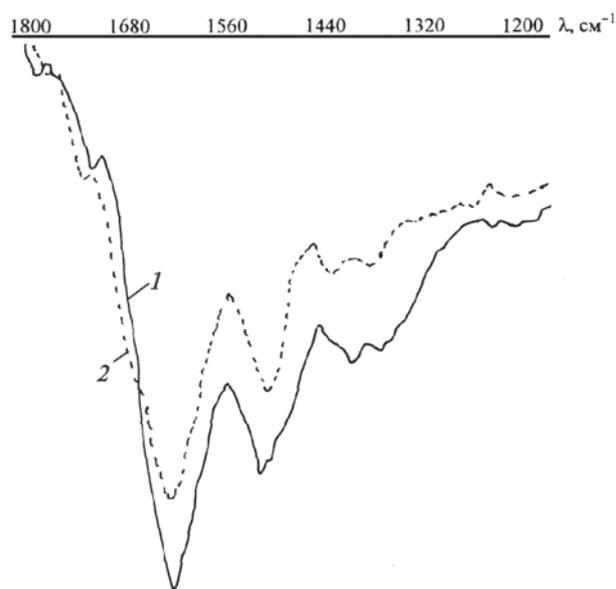


Рис. 2. Спектры целых клеток культуры *D. tertiolecta* в неполяризованном свете: 1 — контроль; 2 — опыт

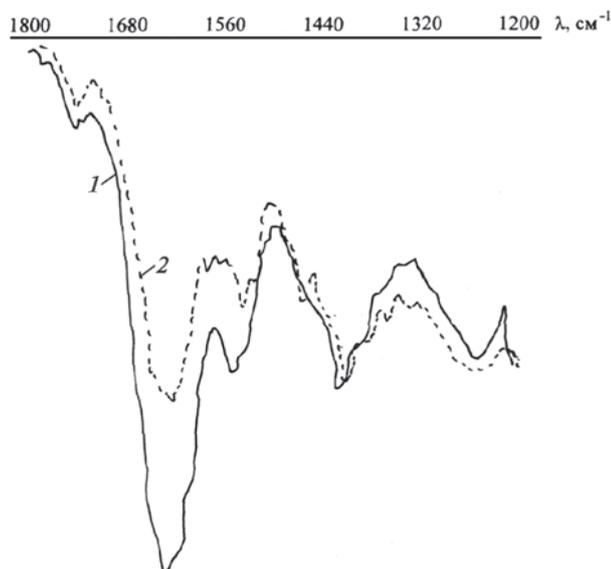


Рис. 3. Спектры поверхностных структур клеток культуры *T. viridis* в неполяризованном свете: 1 — контроль; 2 — опыт

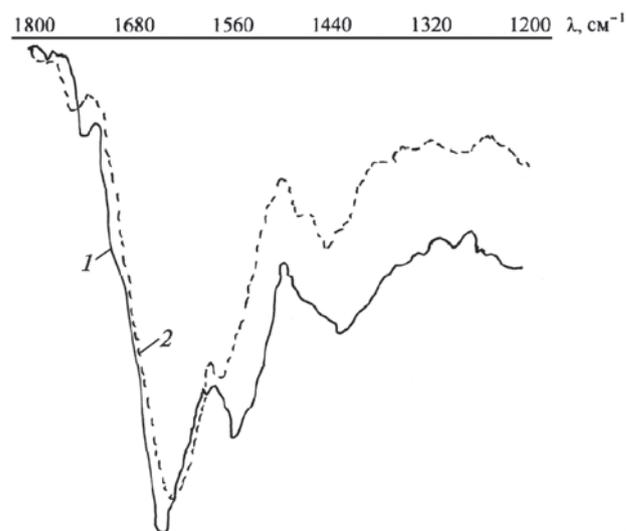


Рис. 4. Спектры целых клеток культуры *T. viridis* в неполяризованном свете: 1 — контроль; 2 — опыт

В спектрах поверхностных структур клеток *T. viridis* появляются изменения в области  $1660$  и  $1550\text{ см}^{-1}$ , которые соответствуют белкам (рис. 3). В спектрах всей клетки *T. viridis* наблюдаются изменения во всем диапазоне частот:  $1800\text{—}1200\text{ см}^{-1}$ , что указывает на отсутствие жизнеспособности клеток (рис. 4).

Кроме того, сравнение спектров поверхностных структур и всей клетки позволило выявить отличие в градиентах концентрации биохимических составляющих. Градиенты для поверхностных структур и целых клеток по полосам поглощения Амид II ( $1550\text{ см}^{-1}$ ) у *T. viridis* (рис. 3, 4) значительно больше, чем градиенты у *D. tertiolecta* (рис. 1, 2), что также свидетельствует о большей чувствительности клеток *T. viridis* к фактору воздействия.

Таким образом, дана характеристика биохимических компонентов и градиентов их концентраций поверхностных структур и целой неразрушенной клетки одноклеточных зеленых водорослей *D. tertiolecta* и *T. viridis* до и после воздействия ЭМП. Результаты ранее выполненной работы [8] показали, что 6-часовое облучение инокулята приводит к прекращению роста культуры *T. viridis* к 30 сут культивирования. На основании этого, ЭПР анализа и ИК спектрометрии можно предположить, что воздействие ЭМП на инокулят нарушает репродуктивные способности культуры. Показано, что степень воздействия ЭМП зависит от времени экспозиции и родовой принадлежности водорослей.

Исследование клеток посевного материала водорослей *D. tertiolecta* и *T. viridis* после 6 ч облучения (наиболее продолжительный срок) показало, что различия в кинетике фотоиндуцированных окислительно-восстановительных превращений в опытных образцах по сравнению с контрольными отсутствуют.

В отличие от других физических факторов внешней среды изучение действия ЭМП на микроорганизмы осложнено тем, что в реальных условиях Земли все объекты находятся в поле естественного векторного потенциала. Лабораторные экспериментальные поля векторно складываются с естественным, а величина результирующего поля зависит от места и времени проведения эксперимента, что может влиять на повторяемость результатов [7].

Материальным носителем жизнеспособности организма является структурная организация живого объекта. Спектральные характеристики могут обеспечить получение информации об определенных изменениях в структурах клетки, так как они связаны со строением атомов и молекул и отражают все изменения, происходящие в процессе наложения на них внешних электромагнитных волн. Предстоящее изучение клеток водорослей в *поляризованном свете* после воздействия ЭМП позволит получить данные не только по характеру изменения биохимических компонентов и их концентрации, но и по изменению пространственной организации этих компонентов клеток, поскольку все биохимические превращения так или иначе связаны с трансформацией структуры. Исследования в этом направлении помогут разобраться в сложных процессах, происходящих под воздействием ЭМП, и объяснить механизм разной чувствительности клеток водорослей к этому фактору и их адаптации к экстремальным воздействиям.

Авторы выражают благодарность канд. биол. наук К.Н. Тимофееву за помощь и участие в обсуждении результатов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев Ю.Г. ПМП — влияние на здоровье населения и оценка опасности // Электромагнитные поля и здоровье человека / Под ред. Ю.Г. Григорьева. М.: РУДН, 2002. С. 14—48.
2. Бинги В.Н. Нетепловые биологические эффекты электромагнитных полей // Наука и технологии в промышленности. 2002. № 3(10)—4(11). С. 74—77.
3. Григорьев Ю.Г., Григорьев О.А., Степанов В.С., Пальцев Ю.П. Электромагнитные загрязнения окружающей среды и здоровье населения России // Электромагнитные загрязнения окружающей среды и здоровье населения России / Под ред. А.К. Демина. М.: Фонд “Здоровье и окружающая среда”, 1997. С. 14—58.
4. Гусев М.В., Калабеков А.Л., Королев Ю.Н. Энтропийный подход при экспериментальной оценке живых систем // Синергетика. Т. 5. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. С. 261—276.
5. Кудряшов Ю.Б., Петров Ю.Ф., Рубин А.Б. Радиационная биофизика: разночастотные и микроволновые электромагнитные излучения. М.: ФИЗМАГЛИТ, 2008. 184 с.
6. Королев Ю.Н., Малахов Ю.И., Калабеков А.Л. Использование методов спектрометрии МНПВО для анализа биологических объектов. // Измерительные технологии. 2002. № 8. С. 40—45.
7. Бинги В.Н. Магнитобиология. Эксперименты и модели. М.: Милта, 2002. 592 с.
8. Асланян Р.Р., Тульский С.В., Григорян А.В., Бабусенко Е.С. Взаимодействие живой системы с электромагнитным полем // Вестн. Моск. ун-та. Сер. Биология. 2009. № 4. С. 20—24.

Поступила в редакцию  
18.11.09

#### NONINVASIV METHODOLOGY FOR THE ANALYSIS OF REACTION OF THE SYSTEM ON ELECTROMAGNETIC FIELD INDUSTRIAL FREQUENCY

*R.R. Aslanyan, E.S. Babusenko, U.N. Korolev*

The method noninvasive the analysis in no polarized light gives characteristics of the basic biochemical components of superficial structures and the whole cells of unicellular green algae *Dunaliella tertiolecta* and *Tetraselmis viridis* before influence of electromagnetic field of industrial frequency. Basic distinctions of cells of cultures of green algae to influence of electromagnetic field, shown in change of the basic biochemical components and gradients of their concentration are shown. As a rule, these changes result in transformation of a metabolism.

**Key words:** *noninvasive the analysis, spectral characteristics, a gradient of concentration, an electromagnetic field of industrial frequency.*

#### Сведения об авторах

*Асланян Рубен Рачикович* — канд. биол. наук, вед. науч. сотр. кафедры физиологии микроорганизмов биологического факультета МГУ. Тел. (495) 939-25-87; e-mail: lbaabus@mail.ru

*Бабусенко Елена Сергеевна* — канд. биол. наук, доц. кафедры биотехнологии РХТУ им. Д.И. Менделеева. Тел. (495) 495-23-79; e-mail: lbaabus@mail.ru

*Королёв Юрий Николаевич* — докт. биол. наук, доц. кафедры физиологии микроорганизмов биологического факультета МГУ. Тел. (495) 939-25-87; e-mail: cordecor@list.ru