

УДК 579, 262:57.083.13, 537.868

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЖИВОЙ СИСТЕМЫ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Р.Р. Асланян, С.В. Тульский*, А.В. Григорян*, Е.С. Бабусенко**

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

Облучение инокулята электромагнитным полем частотой 50 Гц в течение 3 ч практически не влияло на рост суспензионной культуры одноклеточных зеленых водорослей *Dunaliella tertiolecta* и *Tetraselmis viridis*. Облучение в течение 4 ч приводило к снижению роста на 50%. После 6 ч облучения рост *Dunaliella tertiolecta* снижался на 70%, а рост *Tetraselmis viridis* отсутствовал. Облучение гидр в течение 3 ч заметного эффекта не имело. Облучение в течение 4 ч незначительно стимулировало рост и регенерацию травмированных гидр. Воздействие 24-часового облучения сокращало сроки жизни нетравмированных и травмированных гидр. Эффекта регенерации не наблюдалось.

Ключевые слова: облучение, инокулят, суспензионная культура, регенерация гидр.

Кругом нас, в нас самих, всюду и везде, без перерыва, вечно сменяясь, совпадая и сталкиваясь, идут излучения разной длины волны...

В.И. Вернадский

Биосфера Земли подвергается все нарастающему антропогенному воздействию. Освоение электрической энергии и электромагнитных технологий, начавшееся относительно недавно, приобретает все большие масштабы, в связи с чем появился новый мощный фактор — электромагнитное загрязнение окружающей среды.

В настоящее время можно говорить о сформировавшейся дисциплинарной области науки — воздействии электромагнитных излучений на биологические объекты. Природные электромагнитные поля (ЭМП) — фактор поддержания жизни на Земле, а искусственные, к которым эволюция еще не выработала защиты, превышают естественные фоны в сотни и тысячи раз, угрожая всему живому. 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).

Население, особенно крупных городов, и любые биологические объекты постоянно находятся в зоне электромагнитных полей, в том числе промышленной частоты (50—60 Гц). Источниками ЭМП промышленной частоты являются высоковольтные подстанции, воздушные линии электропередач высокого напряжения, производственные и бытовые электроприборы и оборудование, электротранспорт.

Многолетние наблюдения говорят о том, что ЭМП промышленной частоты представляют потенциальную угрозу для здоровья людей и являются

не менее существенным климатическим фактором, чем температура, давление и влажность (Бинги, 2002). Они создают в городах уровень загрязнения, превышающий нормы в сотни и тысячи раз и способствуют возникновению целого ряда опасных заболеваний. Повышенная интенсивность воздействия ЭМП промышленной частоты на человека коррелирует с увеличением смертности от сердечно-сосудистых заболеваний (Леднев и др., 2008). Электромагнитные поля с частотой 50—60 Гц продолжительного воздействия в 2002 г. Международным агентством по изучению рака (IARC) были квалифицированы как “возможно канцерогенные для людей”. Ежедневное воздействие ЭМП промышленной частоты отрицательно влияет на потомство, а наиболее уязвимыми системами являются нервная, эндокринная и иммунная. Эта опасность часто имеет скрытый характер, а последствия могут проявляться через месяцы и даже годы. До сих пор нет ясности о последствиях действия ЭМП, так как недостаточны временные интервалы исследований (Григорьев, 2002; Бинги, 2004).

Исследования действия ЭМП промышленной частоты на животных показали, что в зависимости от длительности воздействия частоты 50 Гц на крыс 20—30-дневное облучение приводило к угнетению активности щитовидной железы, а воздействие в течение 60 дней действовало восстанавливающее (Марсакова, 1982). Кратковременное воздействие ЭМП с частотой 60 Гц на самцов крыс препятствовало

* Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова.

** РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва.

накоплению токсичных продуктов и изменению метаболизма (Удинцев, Иванов, 1982). Показана повышенная чувствительность молодых белых мышей к ЭМП промышленной частоты. Наблюдаемые изменения носили адаптивный характер (Баскурян, Карташев, 1982). Переменное магнитное поле малой мощности с частотой 50 Гц, воздействуя на крыс, оказывало противоопухолевый эффект на 60–80% (Гаркави и др., 1982).

Есть данные по влиянию ЭМП промышленной частоты на растения. Кратковременное воздействие ЭМП (50 Гц) ускоряло прорастание семян пшеницы, а длительное замедляло (Аксенов и др., 2004). По данным Кашулина с соавт. (2005), нахождение кустарников, представителей вересковых, вблизи высоковольтной линии электропередач приводило к снижению содержания флавоноидов в растениях. Воздействие ЭМП частотой 50 Гц снижало урожай ячменя до 15–20% (Pazur et al., 2006).

Наименее изучено влияние ЭМП промышленной частоты на гидробионты. Проведенные модельные эксперименты по влиянию ЭМП 50 Гц на гидробионтов *Daphnia magna* и *Scenedesmus quadricauda* показали их высокую чувствительность и возможность их использования в качестве тест-систем (Дувинг и др., 2000). Воздействие ЭМП низкой частоты на личинки пресноводных креветок снижало показатели роста (Васильева, Мельник, 2008).

Целью данной работы было изучение влияния ЭМП (50 Гц) на одноклеточные зеленые водоросли *Dunaliella tertiolecta* и *Tetraselmis viridis* и пресноводные гидры *Hydra oligactis*. Зеленые водоросли являются важным звеном в пищевой цепи гидробионтов. Они используются для создания экологических циклов в замкнутом пространстве для обеспечения внеземной жизни человека и в качестве тест-объекта для оценки экологического состояния окружающей среды. Пресноводная гидра *Hydra oligactis* выбрана как представитель животного мира, обладающий уникальной регенерационной способностью и полностью восстанавливающийся после травмирования за 2–3 сут. Разрушенный организм гидры может восстанавливаться из небольшого числа клеток (Портнов, 1985).

Объекты и методы

Водоросли *D. tertiolecta* и *T. viridis*, находящиеся в стационарной фазе, и взрослые особи гидры *Hydra oligactis* в стеклянных ампулах помещали в соленоид для облучения. Водоросли облучали в течение 3, 4 и 6 ч, а гидры — в течение 3, 4, и 24 ч. После облучения суспензии водорослей в качестве инокулята вносили в колбы с питательной средой и инкубировали в течение 30 сут при 20° и освещенности 3000 лк. Пробы водорослей отбирали каждые 5 сут, микроскопировали и контролировали рост культуры путем подсчета клеток в каме-

ре Горяева. Облученные гидры помещали в чашки Петри с питательной средой. Продолжительность эксперимента составляла 16 сут при комнатной температуре и естественном освещении. Чашки осматривали каждые сутки, наблюдая за онтогенезом и регенерацией гидр.

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

Для изучения изменений структуры клеточных мембран и динамики происходящих в них процессов под влиянием ЭМП использовали метод ЭПР спиновых меток. Спектры ЭПР регистрировали на спектрометре VARIAN E-4. В качестве метки использовали 5-doxyl-stearic acid (C₂₂H₄₂NO₄) (Тихонов, 1998).

Результаты и обсуждение

Влияние ЭМП на динамику роста одноклеточных зеленых водорослей представлено на рис. 1, а, б. У обеих культур после всех временных вариантов облучения в контрольных и опытных образцах лаг-фаза проходила одинаково. Следующие фазы роста культуры заметно менялись после 4 и 6 ч воздействия ЭМП.

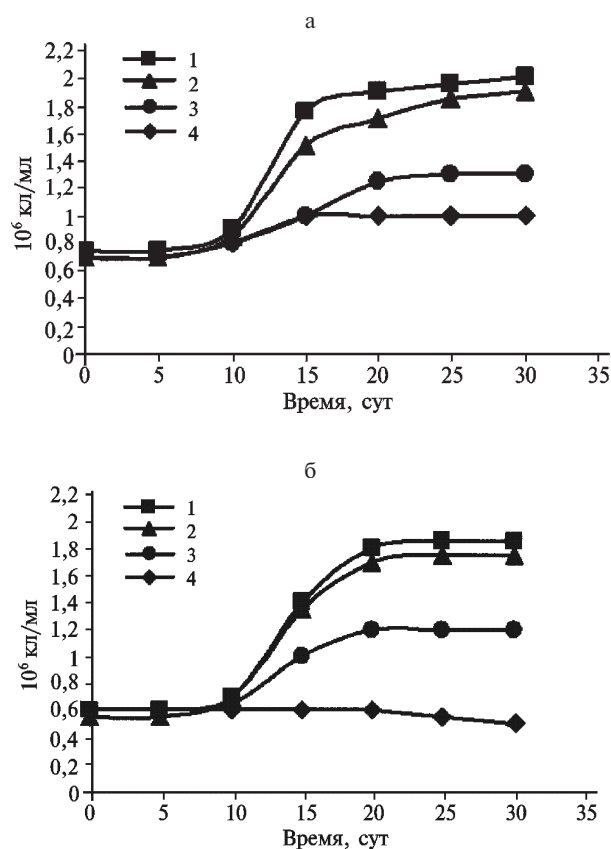


Рис. 1. Рост культуры водорослей после облучения посевного материала:

а — *Dunaliella tertiolecta*; б — *Tetraselmis viridis*.

Обозначения: 1 — контроль, 2 — 3 ч, 3 — 4 ч, 4 — 6 ч

Облучение инокулята водорослей *D. tertiolecta* и *T. viridis* в течение 3 ч не задерживало рост культур, морфология клеток не изменялась.

Облучение в течение 4 ч инокулята значительно снижало численность клеток. К 30-м сут культивирования у *D. tertiolecta* число клеток в контроле составляло $2,0 \cdot 10^6$ кл./мл, в опыте — $1,1 \cdot 10^6$ кл./мл. У *T. viridis* экспоненциальная фаза роста была четко выражена, число клеток в контроле составляло $1,8 \cdot 10^6$ кл./мл, в опыте — $1,2 \cdot 10^6$ кл./мл. Наблюдались единичные клетки, увеличенные в размерах.

Облучение инокулята в течение 6 ч снижало число клеток у *D. tertiolecta* в опыте до $0,9 \cdot 10^6$ кл./мл (в контроле $2,0 \cdot 10^6$ кл./мл). Экспоненциальная фаза роста была слабо выражена. Рост культуры *T. viridis* отсутствовал. Наблюдалось много лизированных клеток, а число увеличенных клеток, утративших первоначальные очертания, возрастало до 15–20%.

Результаты воздействия ЭМП на инокулят одноклеточных зеленых водорослей в процентах к контролю представлены на рис. 2, а, б. Если после 3 ч облучения разница в числе клеток была незначительной, то после 4 ч число клеток резко снижалось, а после 6 ч облучения рост *T. viridis* отсутствовал.

Облучение в течение 3 ч нетравмированных и травмированных гидр на их жизнеспособность и ре-

генерацию не влияло. Облучение в течение 4 ч незначительно стимулировало рост и регенерацию травмированных гидр. Воздействие 24-часового облучения сокращало сроки жизни нетравмированных и травмированных гидр. Эффекта регенерации не наблюдалось.

Исследование клеток водорослей *D. tertiolecta* и *T. viridis* методом ЭПР спиновых меток показало, что в результате воздействия ЭМП происходят изменения в структурах клеточных мембран, причем в большей степени у *T. viridis*, о чем свидетельствует изменение интенсивности сигнала в опытных образцах. Интенсивность сигнала повышалась с ростом числа увеличенных клеток. С помощью метода ЭПР спиновых меток были подтверждены структурные и физиологические различия между облученными и необлученными клетками.

Основным теоретическим обобщением влияния ЭМП на биологические ткани является их воздействие на мишени атомно-молекулярного уровня. Электромагнитные поля низкочастотного диапазона не способны разорвать химические связи молекул, т.е. породить процесс диссоциации. Однако ЭМП могут управлять диссоциацией молекул, если она происходит по каким-либо другим причинам, менять их биохимическую активность и, смещая равновесие, приводить к наблюдаемым биологическим эффектам (Бинги, 2004). Известно, что свойства мембран определяются их молекулярной организацией — высокоупорядоченной структурой, обладающей векторными свойствами. По-видимому, воздействие ЭМП низкой частоты на клеточные мембраны обусловлено трансформацией этой структуры.

Дальнейшие исследования в этом направлении с использованием методологии спектроскопии внутреннего отражения (Королев и др., 2002) должны обеспечивать анализ многокомпонентных гетерогенных систем (какими являются клетки) без их разрушения. Этот метод позволит получить информацию об изменениях химического состава объектов на разном расстоянии от поверхности и степени организации биополимеров во времени и пространстве.

Изучение биологического действия ЭМП промышленной частоты позволит точнее обозначить гигиенические нормы предельно допустимых уровней облучения человека, дать экологическую оценку этому фактору, повысить эффективность использования ЭМИ в различных отраслях промышленности, биотехнологии и медицины. Масштабы и интенсивность электромагнитного загрязнения окружающей среды делает эту проблему важной, а ее решение особенно актуальным.

Авторы выражают благодарность докт. биол. наук Г.Л. Григоряну за участие в обсуждении результатов.

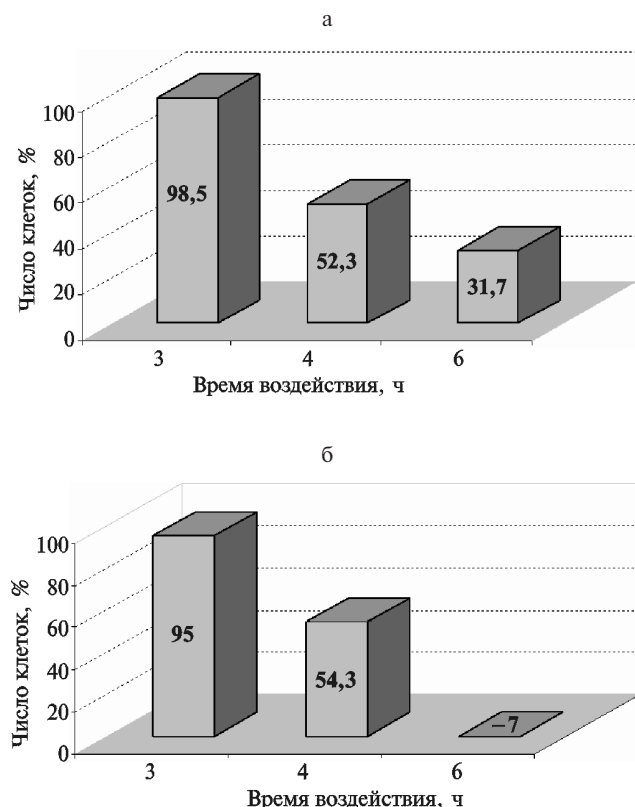


Рис. 2. Зависимость роста культуры от времени воздействия ЭМП (% к контролю):

а — *Dunaliella tertiolecta*; б — *Tetraselmis viridis*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аксенов С.И., Булычев А.А., Грунина Т.Ю., Горячев С.Н., Туровецкий В.В. 2004. Эффекты и возможные механизмы воздействия ЭМП сверхнизких частот на семена пшеницы на разных стадиях их набухания и прорастания. Вода и ее роль в регуляции биологических процессов. М.; Ижевск. 212 с.
- Баскурян А.К., Карташев А.Г. 1982. Возрастная резистентность белых мышей к ПемП промышленной частоты // Тез. докл. Всесоюз. симпоз. "Биологическое действие электромагнитных полей". Пушкино. С. 62—63.
- Бинги В.Н. 2002. Нетепловые биологические эффекты электромагнитных полей // Наука и технологии в промышленности. № 3(10)—4(11). 74—77.
- Бинги В.Н. 2004. Физика взаимодействия живых объектов с окружающей средой. М. 69 с.
- Васильева Е.Г., Мельник И.В. 2008. Воздействие ЭМП низкой частоты (5 Гц) на личинки и развитие пресноводных креветок *Neocaridina denticulate* // Тр. IV Междунар. науч. конф. "Электромагнитные излучения в биологии". Калуга. С. 83—87.
- Гаркави Д.Х., Квакина Е.Б., Шихлярова А.И., Тарасьянц Ф.М. 1982. Количественно-качественная закономерность биологического влияния магнитных полей // Тез. докл. Всесоюз. симпоз. "Биологическое действие электромагнитных полей". Пушкино. С. 60—61.
- Григорьев Ю.Г. 2002. Электромагнитные поля и здоровье человека. М. 177 с.
- Дувинг В.Г., Малинина Ю.А., Воеводин В.И. 2000. Моделирование воздействия электромагнитного поля высокочастотных линий электропередач на гидробиологические объекты. // Мат-лы науч.-практ. конф. "Электромагнитная безопасность. Проблемы и пути решения". Саратов. С. 17.
- Кашулин П.А., Калачева Н.В., Костюк В.И. 2005. Влияние промышленных частот на содержание флавоноидов в растениях // Тр. III Междунар. науч. конф. "Электромагнитные излучения в биологии". Калуга. С. 144—148.
- Королев Ю.Н., Малахов Ю.И., Калачев А.Л. 2002. Использование методов спектроскопии МНПВО для анализа биологических объектов // Измерительные технологии. № 8. С. 40—45.
- Леднев В.В., Белова Н.А., Ермаков А.М., Акимов Е.Б., Тоневский А.Г. 2008. Регуляция вариабельности сердечного ритма человека с помощью крайне слабых магнитных полей // Биофизика. 33. Вып. 6. 1129—1137.
- Марсакова Н.В. 1982. Изменение содержания йода в организме крыс в условиях воздействия ПемП // Тез. докл. Всесоюз. симпоз. "Биологическое действие электромагнитных полей". Пушкино. С. 57.
- Портнов Ф.Г. 1985. Биологическое действие электромагнитных полей // Усп. совр. биол. 100. № 3. 433—435.
- Тихонов А.Н. 1998. Спиновые метки // Соросовский образовательный журнал. № 1. 8—15.
- Удинцев Н.А., Иванов В.В. 1982. Перекисное окисление липидов в механизме биологического действия низкочастотного магнитного поля // Тез. докл. Всесоюз. симпоз. "Биологическое действие электромагнитных полей". Пушкино. С. 49.
- Pazur A., Rassadina V., Dandler J., Zoller J. 2006. Growth of etiolated barley plants in weak static and 50 Hz electromagnetic fields tuned to calcium ion cyclotron resonance // J. Biomagnetic Research and Technology. 4: 1.

Поступила в редакцию
10.06.09

INTERACTION OF ALIVE SYSTEM WITH ELECTROMAGNETIC FIELD

R.R. Aslanyan, S.V. Tulskey, A.V. Grigoryan, E.S. Babusenko

The irradiation of the inoculum an electromagnetic field frequency 50 Hz within 3 hours practically did not influence growth of suspension culture of unicellular green algae *Dunaliella tertiolecta* and *Tetraselmis viridis*. The irradiation within 4 hours resulted in reduction of growth more than on 50%. The irradiation within 6 hours growth *Dunaliella tertiolecta* was reduced on 70%, and growth *Tetraselmis viridis* was absent. The irradiation of hydras within 3 hours of appreciable effect had no. The irradiation within 4 hours a little stimulated growth and regeneration of injured hydras. Influence of 24 hour of an irradiation resulted in reduction of terms of life of not injured and injured hydras. Effect of regeneration it was not observed.

Key words: electromagnetic field, inoculum, suspension culture, regeneration of hydras.

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: gene_b@mail.ru

Тулский Сергей Васильевич — канд. биол. наук, доц. кафедры биофизики физического факультета МГУ. Тел. (495)939-30-07.

Григорян Андрей Викторович — студент 6-го курса физического факультета МГУ. Тел. (495)939-30-07.

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