

БИОФИЗИКА И МЕДИЦИНСКАЯ ФИЗИКА

УДК 621.391+317.532.783+535

**ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НИЗКОЙ
ИНТЕНСИВНОСТИ (ПОПУЛЯЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ)****М. Г. Гапочка**

(кафедра радиофизики)

E-mail: ludgap@phys.msu.ru

В реакциях одноклеточных организмов на токсическое воздействие и КВЧ-облучение обнаружено как принципиальное отличие, так и сходство. Отличие состоит в том, что устойчивость микроводорослей к токсическому воздействию в процессе роста культуры и становления их популяции увеличивается, а устойчивость к действию облучения — уменьшается. Сходство проявляется в том, что устойчивость микроводорослей к действию обоих факторов зависит от фазы роста культуры и стадии формирования популяции.

Естественное электромагнитное излучение (ЭМИ), электрические и магнитные поля рассматриваются сегодня как важный экологический фактор, имеющий существенное значение для биосферы и принимающий непосредственное участие в жизнедеятельности любого организма [1]. Неотъемлемой частью природной среды является ЭМИ низкой интенсивности, и прежде всего потому, что этот фактор присутствовал при зарождении и развитии жизни на Земле.

Особенностью низкоинтенсивного ЭМИ миллиметрового диапазона является его сильное поглощение атмосферой (в основном парами воды) и потому низкое фоновое значение. Однако широкое применение источников ЭМИ в различных отраслях мировой экономики привело к тому, что уровень техногенных полей на один-два порядка превышает уровень естественных, а интенсивность электромагнитного фона Земли за последние полвека возросла (в некоторых диапазонах, в частности в метровом) более чем в пятьдесят тысяч раз [1]. Поэтому ЭМИ искусственного происхождения можно рассматривать как новый биосферный фактор, влияние которого на живые организмы, и прежде всего на человека изучают уже более тридцати лет.

Биологические системы на всех уровнях организации различаются по степени устойчивости к действию экстремальных факторов внешней среды. Анализ теоретических исследований и результатов наблюдения в природе показывает, что изначальным механизмом устойчивости экологических систем всех уровней организации является тот, который обеспечивается адаптационными свойствами популяции.

В настоящей работе исследовано влияние

КВЧ-облучения на развитие культур одноклеточных организмов в процессе формирования их популяций.

Культуры одноклеточных организмов являются удобной моделью для изучения отклика популяции на внешнее воздействие, так как они обладают коротким жизненным циклом и за ограниченный срок дают ряд поколений, что позволяет проследить за формированием их популяций как единой биологической системы и за изменением отклика на внешние воздействия.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования служили культуры инфузории *Spirostomum ambiquum* и зеленой микроводоросли *Scenedesmus quadricauda* Breb.

Инфузории выращивали на минеральной среде следующего состава: KCl — 4 мг/л; MgCl₂ · 2H₂O и CaCl₂ · 2H₂O — по 5 мг/л; NaHCO₃ — 7 мг/л и NaCl — 35 мг/л. Кормом для простейших служили пивные дрожжи из расчета 550 мг/л. Для опытов использовали 7-дневную культуру; исходная плотность клеток — 15 особей на 10 мл среды. Численность клеток контролировали каждые 2–3 дня, просчитывая всю пробу в камере Богорова под бинокуляром. Культуру инфузорий облучали в день постановки эксперимента (инокулянтная культура) — нулевые сутки, на 5-е, 8-е, 10-е и 12-е сутки в течение 30 мин.

Культуру микроводорослей выращивали в среде Кратца–Майерса при 22–24°С и рН 7.6–7.8. Посевным материалом служила 10-дневная культура водорослей. Исходная плотность клеток при посеве — 100 тыс. клеток/мл. Численность клеток растущих культур контролировали на ФЭК-56. Культуру водорослей в объеме 50 мл облучали в течение 30 мин,

1, 2, 3 и 6 ч в день постановки эксперимента (стадия инокулята), на 10-е и 20-е сутки роста.

Культуры одноклеточных организмов облучали ЭМИ КВЧ длиной волны $\lambda = 7.1$ мм (мощность излучения менее 1 мВт/см^2) в тефлоновых стаканах с донной стороны. В качестве источника ЭМИ использовали промышленные генераторы Г4-141 и Г4-142.

Контролем служила необлученная культура микроводорослей.

Оценку влияния КВЧ-облучения на рост инфузорий и микроводорослей проводили на основе анализа численности их клеток по кривым роста контрольных и опытных культур.

Результаты

Исследования процесса формирования популяции в культуре микроводорослей и их устойчивости в условиях токсического воздействия показали [2], что в выбранных условиях эксперимента время от первых проявлений популяционных свойств до окончательного формирования популяции занимает от четырех до четырнадцати суток в развитии культуры. После 14 сут начинается этап функционирования микроводорослей с высокой степенью интеграции между отдельными особями.

Полученные данные были учтены при изучении влияния облучения на развитие культуры на разных стадиях становления популяции, и поэтому были выбраны следующие три точки для облучения культуры: нулевой день (день постановки эксперимента) — популяция на стадии инокулята, характеризующаяся отсутствием взаимодействия между отдельными клетками; 10-й день — популяция в процессе формирования; 20-й день — сформированная популяция.

При облучении культуры микроводорослей на стадии инокулята были получены неоднозначные эффекты (стимуляция, ингибирование, отсутствие эффекта) и, как правило, слабо зависящие от дозы облучения (рис. 1 и 2).

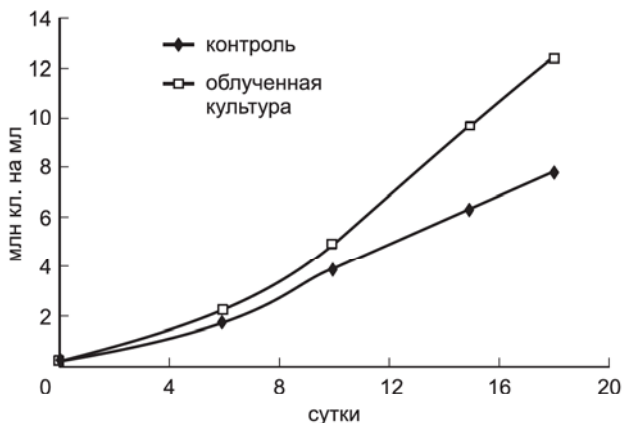


Рис. 1. Рост культуры микроводорослей после облучения в день постановки эксперимента

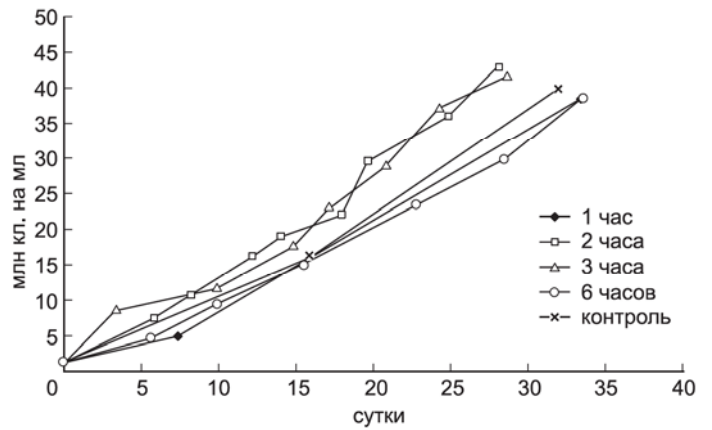


Рис. 2. Рост культуры микроводорослей после облучения в день постановки эксперимента

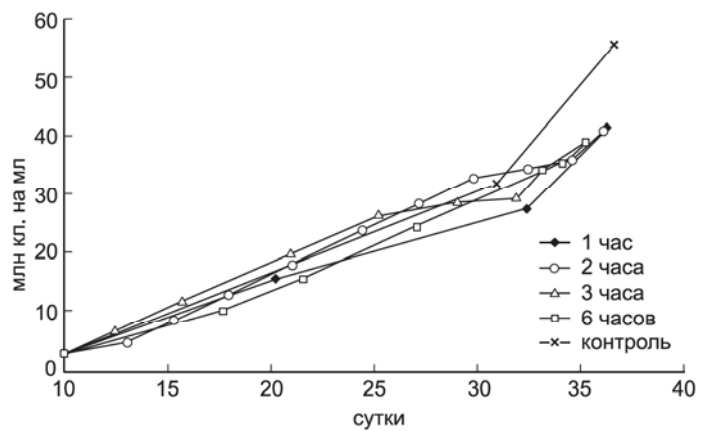


Рис. 3. Рост культуры микроводорослей после облучения на 10-й день

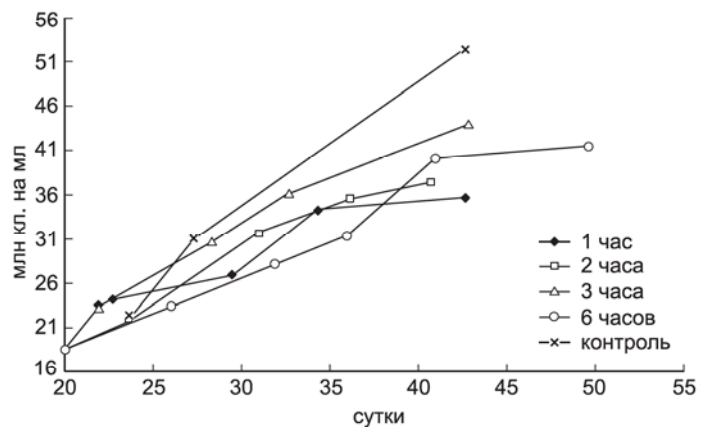


Рис. 4. Рост культуры микроводорослей после облучения на 20-й день

Облучение 10- и 20-суточных культур водорослей дает практически однозначный эффект разной степени ингибирования (рис. 3 и 4). При этом обнаружено, что облучение 10-суточной культуры ингибирует рост водорослей только к концу эксперимента, а 20-суточной — сразу же после облучения.

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что эффект облучения зависит от фазы роста и степени сформированности популяции микроводорослей и проявляется он, как правило, не сразу, а по мере развития культуры водорослей. Но чем старше культура, чем сформированней популяция водорослей, подвергшаяся облучению, тем быстрее проявляется реакция на облучение. Кроме того, чем сформированней популяция, тем более однозначен и стабилен эффект облучения. Так, последствия облучения на стадии инокулята непредсказуемы: оно может привести и к стимуляции роста водорослей, и к его угнетению, а может, и к отсутствию всякого эффекта. Облучение 10-суточной культуры приводит, как правило, к ингибированию роста водорослей, возможно отсутствие эффекта, но никогда не проявляется стимуляция роста культуры. Облучение 20-суточной культуры приводит всегда только к ингибированию роста водорослей.

На рис. 5 приведены данные о развитии простейших в контрольных и опытных культурах. Контрольная кривая роста простейших характеризуется трехдневной лаг-фазой, увеличением клеток в логарифмической фазе, стационарной фазой (10–14-е сутки) и довольно резким отмиранием всей культуры.

На этом же рисунке представлены данные о воздействии облучения на культуры инфузорий разного возраста. Отчетливо видна зависимость между фазой развития инфузорий и их устойчивостью, которая не связана с численностью клеток. При этом наименьшей устойчивостью к действию облучения обладает пятидневная культура (лог-фаза), а наибольшей — десятидневная и двенадцатидневная культуры (стационарная фаза). Облучение же восьмидневной культуры приводит, с одной стороны, к стимуляции роста, а с другой — к более быстрому их отмиранию. Подобные данные были получены нами и при изучении воздействия токсических веществ на культуру инфузорий [3].

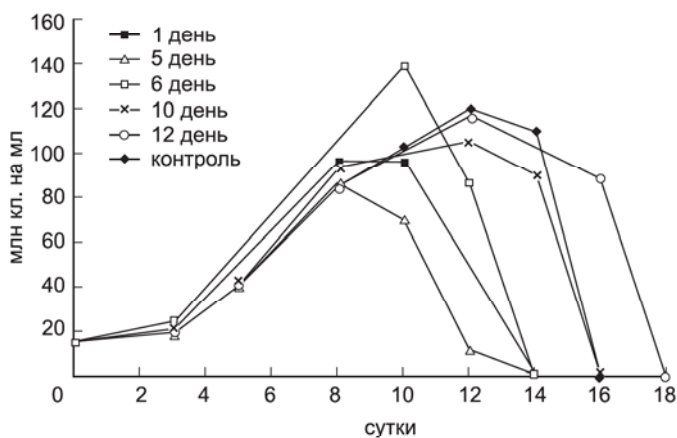


Рис. 5. Численность инфузорий после облучения в день постановки эксперимента (1-й день), на 5-й, 6-й, 10-й и 12-й день роста культуры

Обсуждение

Популяция одноклеточных организмов представляет собой сумму отдельных клонов и поэтому не является примером классической популяции.

Однако исследования устойчивости культуры микроводорослей в условиях токсического воздействия показали [4], что их популяция в процессе роста и развития культуры формируется и реагирует как единая биологическая система.

Для приобретения популяцией системного свойства клетки, входящие в ее состав, должны взаимодействовать между собой, что создает и поддерживает целостность и устойчивость популяции во внешней среде. У микроводорослей такое взаимодействие осуществляется на уровне метаболитов, являющихся главным системообразующим фактором и обеспечивающих вещественную связь между клетками и превращение простой суммы клеток в целостное образование. Это в свою очередь формирует популяционную реакцию клеток на воздействие среды, при которой реакция особи опосредована метаболитным фоном. Связи между организмами, обусловленные обменом веществ на биохимическом уровне, не столь очевидны, как топические или прямые трофические взаимодействия, но не менее прочно объединяющие все организмы в единое целое [5]. Система ограничивает реактивность организма, разнообразие его состояний, но при этом и защищает от повреждающих воздействий, что особенно важно в условиях антропогенного загрязнения среды.

При изучении устойчивости микроводорослей и цианобактерий к внешним воздействиям на разных этапах формирования их популяции было установлено [4], что устойчивость к токсическому фактору увеличивается (на один-два порядка) в процессе становления их популяции как единой биологической системы, что связано с увеличением численности клеток, уменьшением их пространственной разобщенности и увеличением концентрации метаболитов.

Приведенные в настоящей работе данные свидетельствуют о том, что ответные реакции популяций микроводорослей на токсическое действие и КВЧ-облучение различаются принципиально: устойчивость к действию облучения в процессе становления популяции падает; при этом наименьшую устойчивость проявляет именно сформированная популяция; гомеостаз популяции, ее защитные механизмы при действии ЭМИ не работают. Это может свидетельствовать о том, что облучение сформированной популяции микроводорослей приводит к таким изменениям в среде, которые дезинтегрируют популяцию.

Что касается простейших, то, в отличие от водорослей, их реакция на облучение принципиально не отличается от реакции на токсические воздействия. Максимальная устойчивость наблюдается в сформированной популяции, в фазе стационарного роста.

Представленные выше результаты позволяют обнаружить не только принципиальные отличия, но и общее в реакциях одноклеточных организмов на воздействие токсических веществ и облучение: отклик и устойчивость микроводорослей и простейших на внешнее воздействие зависит от фазы роста культуры и стадии сформированности их популяций.

Литература

1. *Готовский Ю.В., Перов Ю.Ф.* Особенности биологического действия физических и химических факторов малых и сверхмалых интенсивностей и доз. М., 2003.
2. *Гапочка Л.Д., Баттах М.Г., Дрожжина Т.С.* и др. // Вестн. Моск. ун-та. Биология. 1991. № 4. С. 34.
3. *Белая Т.И., Гапочка М.Г., Гапочка Л.Д.* и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 1997. № 12. С. 2439.
4. *Гапочка Л.Д.* Популяционные аспекты устойчивости цианобактерий и микроводорослей к токсическому фактору: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 1999.
5. *Бурковский И.В.* Морская биогеоценология. М., 2006.

Поступила в редакцию
26.12.2007