

УДК 577.4:538.56

О. О. Григорьева, М. А. Березовская, А. И. Даценко

**ВЛИЯНИЕ МИКРОВОЛНОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ
НА РОСТ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ЗЕЛеноЙ ВОДОРОСЛИ
*CHLAMYDOMONAS ACTINOSHLORIS***

Изучено действие микроволновой радиации дециметрового диапазона на зеленую водоросль *Chlamydomonas actinochloris* Deason et Bold. Исследована динамика численности клеток, а также изменения в спектрах фотолюминесценции образцов после облучения. Установлена зависимость этих показателей от физиологического состояния исследуемых объектов и поглощенной ими дозы. Зафиксирован стимулирующий эффект при определенных условиях облучения.

Ключевые слова: водоросли, микроволновое облучение, фотолюминесценция.

Микроволновая радиация, как экологический фактор, получает все большее распространение в повседневной жизни в связи с развитием современных технологий, основанных на использовании данного типа излучения. Но наряду с преимуществами, получаемыми при внедрении в жизнь мобильных телефонов, СВЧ-печей и ряда других приборов, важно учитывать также и степень риска, которому в результате постоянно подвергается окружающая среда.

Реакция организма на облучение зависит как от факторов окружающей среды, так и от физиологического состояния самого объекта. Например, в зависимости от сезона года облучение может вывести растение из состояния покоя и стимулировать физиологические процессы, или же погрузить в депрессивное состояние и привести к гибели [4].

Целью данной работы являлось исследование реакции зеленой водоросли *Chlamydomonas actinochloris* на влияние микроволновой радиации дециметрового диапазона. Для этого была поставлена задача изучить действие различных доз микроволнового излучения на численность клеток в культуре и их функциональное состояние (по эффективности фотолюминесценции образцов).

Материал и методика исследований. В экспериментах использовали культуру зеленой водоросли *Chlamydomonas actinochloris* Deason et Bold

© Григорьева О. О., Березовская М. А., Даценко А. И., 2010

(АСКУ, № 706-06). В ходе работы сравнивали влияние как низкой, так и высокой доз радиации на образцы, пребывающие в различном физиологическом состоянии. В частности, первая группа водорослей пребывала в монадном, то есть подвижном, состоянии, а вторая — в пальмелевидном, то есть клетки были неподвижными.

Облучению подвергалась суспензия водорослей объемом 100 мл, находящаяся в стеклянной посуде. В качестве источника микроволнового излучения использовали стандартную бытовую микроволновую печь, работающую на магнетроне с частотой генерации $\nu = 2450$ МГц, что отвечает диапазону частот некоторых антропогенных источников (длина волны излучения $\lambda \cong 12$ см). Температуру суспензии измеряли до и после облучения. Дозу поглощенной радиации D определяли по формуле

$$D = c (t_2 - t_1),$$

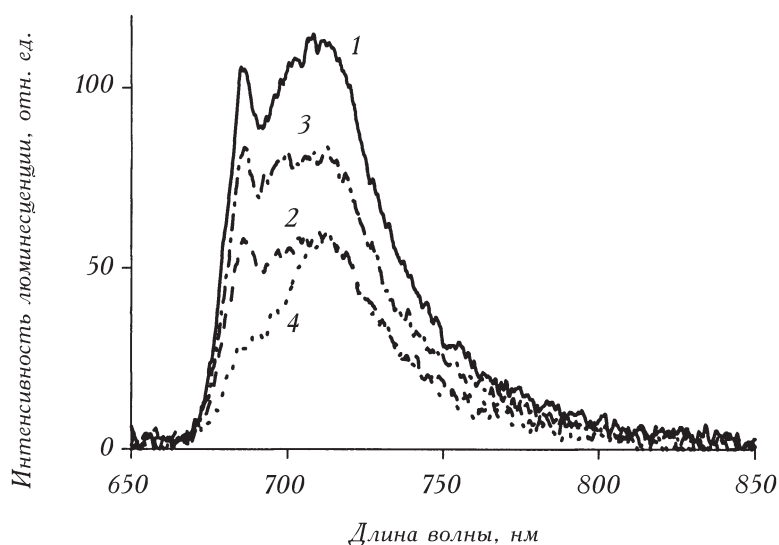
где $c = 4,2$ Дж/(г·°С) — удельная теплоемкость воды, t_1 и t_2 — начальная и конечная температура суспензии [2]. При экспозициях 10, 20 и 30 с температура поднималась до 35, 45 и 55°С соответственно, а поглощенные дозы составляли 45, 85 и 130 Дж/г. Контролем служили образцы, не подвергающиеся облучению.

Фотолюминесценция возбуждалась излучением аргонового лазера с длиной волны 488 нм и мощностью 19 мВт. Измерение спектров проводилось в 1-й и 7-й день после облучения. С целью увеличения квантовой эффективности люминесценции и, соответственно, уменьшения погрешности эксперимента образцы (исследуемые пробы) охлаждались до температуры жидкого азота (80°К). На приведенных в работе спектрах интенсивность пропорциональна энергии на единицу спектрального интервала. Подсчеты количества клеток в культуре [5] проводились в 1, 2, 5 и 7-й день эксперимента.

Результаты исследований и их обсуждение

Как известно, интенсивность фотолюминесценции связана с интенсивностью процессов фотосинтеза, протекающих в растениях, и отражает их функциональное состояние [1]. В наших экспериментах эффективность люминесценции культуры в монадном состоянии в первый день опыта, то есть сразу после облучения, зависела от полученной дозы. В частности, облучение приводило к уменьшению интенсивности свечения (рис. 1). У культуры, находящейся в пальмелевидном состоянии, интенсивность люминесценции облученных образцов и контрольных групп отличалась мало. Для всех полученных спектров излучения характерны две полосы: одна относительно узкая с максимумом около $\lambda_1 = 685$ нм и вторая широкая с максимумом в интервале $\lambda_2 \approx 710\div 720$ нм. Существует мнение [1], что пик в области 685÷692 нм отвечает хлорофиллу *a* фотосистемы II, тогда как полоса в области 714÷726 нм принадлежит фотосистеме I.

На седьмой день эксперимента интенсивность фотолюминесценции всех образцов в целом возросла, что связано, в первую очередь, с увеличением биомассы водорослей. В связи с различными показателями количества кле-

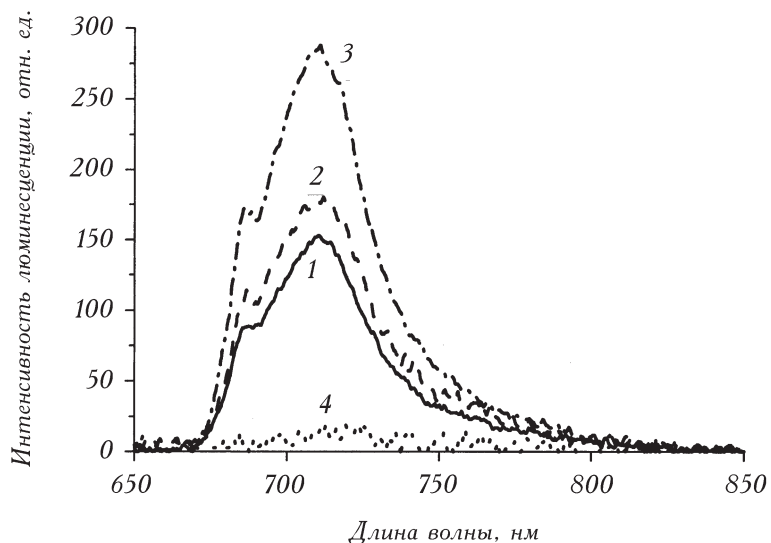


1. Спектры фотолюминесценции *Ch. actinochloris* (монадное состояние) в 1-й день после облучения микроволновой радиацией. Здесь и на рис. 2—5: 1 — контроль; 2 — экспозиция 10 с (45 Дж/г); 3 — экспозиция 20 с (85 Дж/г); 4 — экспозиция 30 с (130 Дж/г).

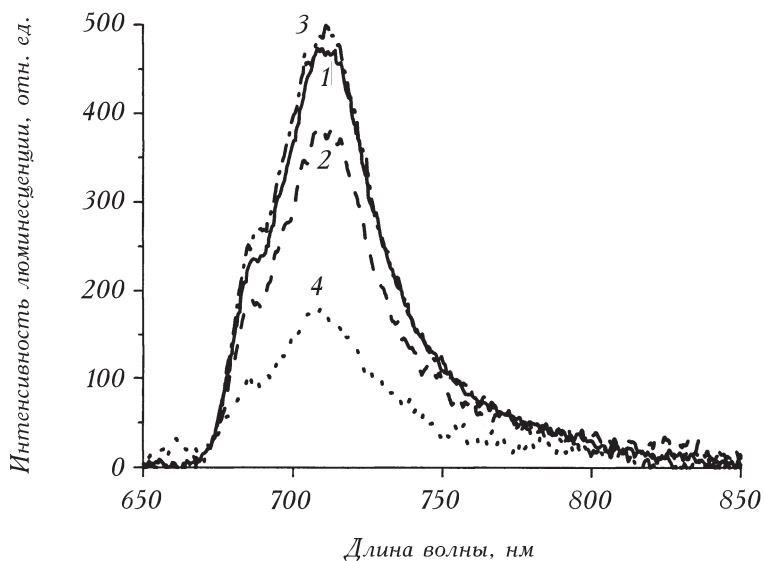
ток на 7-й день эксперимента, полученные спектры фотолюминесценции были приведены к одинаковой численности клеток, чтобы исключить эффект влияния роста биомассы на их интенсивность (рис. 2, 3). Для этого цифровые данные интенсивности каждого спектра делили на процентный показатель количества клеток относительно контрольного образца.

Характер влияния 10-секундного облучения на образцы зависит от физиологического состояния клеток. Так, у водорослей, находящихся в монадном состоянии, происходит некоторая стимуляция внутриклеточных процессов, и соответствующий спектр по интенсивности несколько превышает контрольный. У культур, пребывающих в пальмелевидном состоянии, люминесценция данного опытного образца явно слабее, чем контрольного.

20-секундное облучение водорослей в монадном состоянии (см. рис. 2) значительно стимулирует фотосинтетические процессы, поскольку эффективность люминесценции соответствующего образца была существенно больше, чем контрольного и облученного на протяжении 10 с. 30-секундное облучение, напротив, практически полностью редуцирует люминесцентные процессы. Интенсивность свечения образцов в пальмелевидном состоянии, облученных в течение 20 с, несколько превышала контроль и была выше для других вариантов (см. рис. 3). В обоих случаях при облучении в дозе 130 Дж/г происходило ослабление люминесценции по сравнению с контролем, а доза 85 Дж/г, наоборот, вызвала ее усиление. Существенный интерес представлял анализ полученных результатов с учетом изменений численности клеток на протяжении эксперимента.

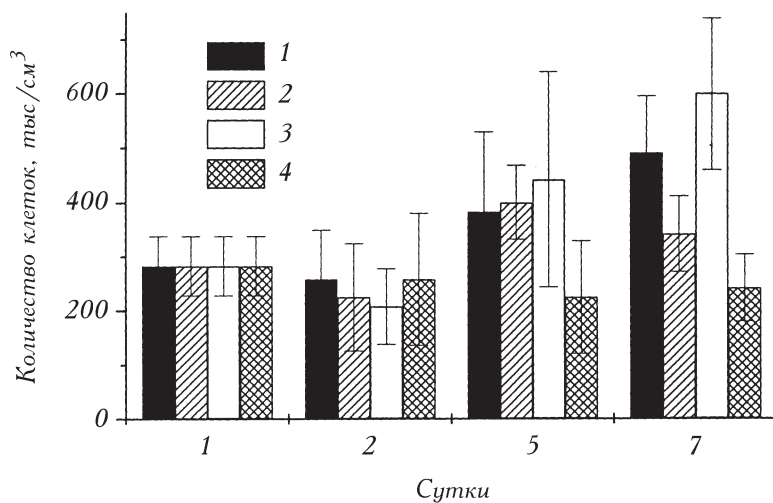


2. Спектры фотолуминесценции зеленой водоросли *Ch. actinochloris* (монадное состояние) на 7-й день после облучения.

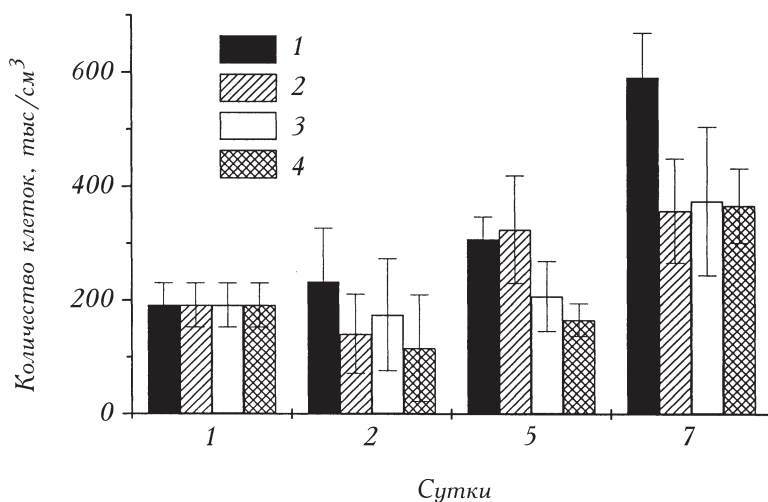


3. Спектры фотолуминесценции зеленой водоросли *Ch. actinochloris* (пальмелевидное состояние) на 7-й день после облучения.

Как свидетельствуют результаты опытов, облучение влияет не только на люминесцентные процессы, но и на динамику количества клеток. Так, для монадного состояния при экспозиции 20 с наблюдается тенденция к увеличению численности клеток на 7-е сутки эксперимента (рис. 4). В этом же опыте, при обработке образца в течение 30 с, количество клеток, напро-



4. Динамика численности клеток *Ch. actinochloris* (монадное состояние) в зависимости от продолжительности (дозы) предварительного облучения.



5. Динамика численности клеток *Ch. actinochloris* (пальмелевидное состояние) в зависимости от продолжительности (дозы) предварительного облучения.

тив, значительно уменьшилось. Облучение культуры, находящейся в пальмелевидном состоянии, не имело столь негативного влияния на ее дальнейшее развитие при максимальной экспозиции (рис. 5). Несмотря на некоторое снижение численности клеток сразу после облучения, к 7-му дню эксперимента она заметно возросла. Постепенное увеличение количества клеток отмечено и в остальных вариантах опыта, но всплеска численности, который превышал бы контроль, не наблюдалось. Это, вероятно, можно объяснить замедлением процессов обмена веществ, характерным для растений в состоянии покоя.

Неоднозначность влияния излучения с небольшими дозами на функциональное состояние гидробионтов в монадном состоянии можно объяснить следующим образом. Облучение продолжительностью 20 с (85 Дж/г) более губительно для водорослей по сравнению с облучением 10 с (45 Дж/г) и вызывает гибель самых слабых клеток или, по крайней мере, угнетает их размножение. Остаются только наиболее приспособленные для выживания клетки, которые быстро восстанавливаются после шока и, при отсутствии конкуренции со стороны лизированных клеток, в дальнейшем быстро размножаются. Они, соответственно, характеризуются и лучшим функциональным состоянием, поэтому интенсивность их люминесценции в среднем выше. По этой причине суммарное количество клеток водорослей, регистрируемое на 7-й день в культуре, находящейся в монадном состоянии, которую облучили в дозе 85 Дж/г, больше, чем в вариантах, обработанных в дозе 45 Дж/г, а эффективность люминесценции в пересчете на количество клеток выше, чем даже у контрольной группы.

Следует отметить, что подобные результаты были получены при исследовании влияния микроволнового облучения на кладки комаров *Culex pipiens molestus* Forskal [3]. Хотя с повышением дозы облучения доля выживших личинок уменьшалась, их развитие, напротив, ускорялось. Так, после облучения наиболее высокой дозой, при которой личинки выжили, они первыми завершили цикл развития, хотя стадии имаго достигли лишь 67% особей, в то время как в контроле — 89%.

Заключение

Микроволновое облучение влияет на рост и спектры фотолюминесценции *Ch. actinochloris*. Характер этого влияния зависит как от дозы поглощенной радиации, так и от физиологического состояния самой водоросли.

Доза радиации 85 Дж/г стимулирует внутриклеточные процессы, о чем свидетельствует нарастание биомассы *Ch. actinochloris* и увеличение интенсивности фотолюминесценции.

Увеличение дозы радиации до 130 Дж/г, напротив, угнетает клеточный метаболизм, приводит к резкому снижению биомассы, а также интенсивности фотолюминесценции.

**

*Досліджено дію мікрохвильової радіації дециметрового діапазону на зелену водорість *Chlamydomonas actinochloris* Deason et Bold. Вивчено динаміку чисельності клітин після опромінення та зміни у спектрах фотолюмінесценції зразків. Показано, що реакція рослин на радіацію залежить від їх фізіологічного стану та поглиненої ними дози. За певних умов можна спостерігати стимулюючий ефект опромінення.*

**

*The influence of microwave radiation of decimeter range on *Chlamydomonas actinochloris* Deason et Bold was investigated. The dynamics of cell quantity and changes in the photoluminescence spectra of samples after irradiation were studied. It was shown that re-*

action of the plant on irradiation depends on their physiological state and absorption doze. We can observe stimulating effect of irradiation at defined conditions.

**

1. Веселовский В.А., Веселова Т.В. Люминесценция растений: Теоретические и практические аспекты. — М.: Наука, 1990. — 200 с.
2. Григор'єва О.О. Вплив надвисокочастотного опромінення як екологічного фактора на деякі гідробіонтні організми: Автореф. дис. ... канд. біол. наук — К., 2005. — 20 с.
3. Григор'єва О.О. Особливості впливу неіонізуючого опромінення на живі організми // Агроекол. журн. — 2008. — № 3. — С. 76—81.
4. Кузнецов С.Г., Путинцев А.С. Особенности воздействия мощных УВЧ импульсов на семена гречихи // Радиационная биология. Радиоэкология. — 1996. — Т. 36, вып. 5. — С. 686—690.
5. Методы экспериментальной микологии: Справочник / Отв. ред. В. И. Билай. — Киев: Наук. думка, 1982. — 552 с.

Киевский национальный университет

Поступила 04.06.09