

Список использованной литературы

- Громов В.В., Спицын В.И. Искусственные радионуклиды в морской среде. М., Атомиздат, 1975. 104 с.
- Моисеев П.А. Биологические ресурсы океана. М., Пищепромиздат, 1969. 293 с.
- Нормы радиационной безопасности (НРБ-69). М., Атомиздат, 1969, с. 30, 46.
- Парчевский В.П., Соколова И.А. Определение стронция-90 и кальция в гидробионтах и воде.- В кн.: Морская радиоэкология, Киев, 1970, с. 14-19.
- Патин С.А., Петров А.А. Искусственная радиоактивность морской воды и промысловых гидробионтов Мирового океана. - В кн.: Радиоэкология водных организмов, Рига, 1973, с. 200-209.
- Шведко Н.С., Попов Д.К. Методы определения цезия-137 в объектах внешней среды. М., "Радиохимия", 1971, т.ХШ, вып.1, с. 12-14.
- Шведов В.П., Патин С.А. Радиоактивность океанов и морей. М., Атомиздат, 1968, 184 с.

ARTIFICIAL RADIONUCLIDES IN COMMERCIAL SPECIES OF FISH FROM THE WORLD OCEAN AND FRESHWATER BODIES.

A. A. PETROV

SUMMARY

Numerous data are presented and discussed on concentrations of Sr^{90} in body tissues and of Cs^{137} in muscle tissue of the main commercial species of fish caught in various areas of the World Ocean, lakes and rivers. Radionuclide concentrations are estimated to range widely. The average concentrations of Sr^{90} in bony tissues and of Cs^{137} in muscles of oceanic species of fish are 26 and 21 pCi/kg wet weight, respectively.

Arnold, W., Davidson, G.B. The identity of the fluorescent and delayed light emission spectra in *Chlorella*. J. Gen. Physiol., 1954, v. 28, p. 172-176.

Arnold, W., Thompson, Y. Delayed light production by blue-green algae, red algae and purple bacteria. J. Gen. Physiol. 1956, v. 32, p. 311-315.

Davis, A. G. An assessment of the basis of mercury tolerance in *Dunaliella tertiolecta*. J. Mar. Biol. Ass. U. K., 1976, v. 56, No. 1, p. 34-38.

Joliot, P., Barbieri, G., Chaband, R. Photochem. Photobiol., v. 10, 1970, p. 309-314.

Kok, B., Forbush, B., Megloin, M. Photochem. Photobiol., 1970, v. 11, p. 457-461.

Strehler, B.L., Arnold, W.Y. Light production by green plants. J. Gen. Physiol. 1951, v. 34, p. 809-814.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАМЕДЛЕННОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ В ЭКОЛОГО- ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ФИТОПЛАНКТОНА

О.П. Цвылев, В.Н. Ткаченко

Основные задачи водной экотоксикологии, возникшей на стыке гидробиологии и токсикологии, — изучение нарушений гидробиологических процессов под влиянием токсических факторов, вызванных этими нарушениями сдвигов биотического круговорота и обусловленных ими изменений качества среды (Брагинский, 1975). Решение этих задач требует привлечения наряду с классическими методами гидробиологии также специфических методов анализа экотоксикологических ситуаций, регистрирующих физиологические, биохимические или биофизические реакции организмов. Однако любой из этих методов — будь то традиционный гидробиологический или самый совершенный физиолого-биохимический — не может выявить одновременно внутриорганизменные и надорганизменные популяционные нарушения. Поэтому необходим метод, который позволит идентифицировать структурные и функциональные изменения экосистемы в условиях стресса.

Решить эту проблему можно при использовании замедленной флуоресценции в качестве индикатора аномальных сдвигов в первичном звене трофической цепи. Явление замедленной флуоресценции, или фотохемилюминесценции, возникает после прекращения светового воздействия на фотосинтезирующий организм (отсюда еще одно название этого явления — длительное послесвечение) и характеризуется одинаковой с фотосинтезом зависимостью от температуры, интенсивности света, воздействия ультрафиолета и ингибиторов (Streller, Arnold, 1951).

Идентичность спектров замедленной и быстрой флуоресценции хлорофилла *in vivo* (Arnold, Davidson, 1954) свидетельствует о том, что молекула хлорофилла возбуждается химическим путем до синглетного уровня с последующим испусканием квантов флуоресценции.

Веским аргументом в пользу того, что послесвечение связано с начальными фотохимическими стадиями фотосинтеза служит сходство спектров действия послесвечения и фотосинтеза водорослей (Arnold, Thompson, 1955). Более того, его интенсивность изменяется периодически с выделением O_2 (Joliot et al., 1970; Kok et al., 1970), т.е. оно зависит от редокс-состояния механизма выделения O_2 .

Таким образом, послесвечение — универсальное явление, присущее всем фотосинтезирующим организмам, — можно рассматривать как возможный индикатор состояния автотрофного звена морской экосистемы. Чтобы подтвердить это, была изучена замедленная флуоресценция природных популяций морского фитопланктона с раз-

личных горизонтов, а также монокультур морских водорослей, характеризующихся различной фотосинтетической активностью (скорость потребления C^{14}), относящихся к различным таксономическим группам и находящихся в различном физиологическом состоянии. Иными словами, была сделана попытка описать в природной ситуации и на модельной системе энергетические, а в последнем случае и структурные характеристики первичного трофического звена с помощью различных параметров явления фотохемилюминесценции.

Замедленную флуоресценцию изучали на установке для регистрации короткоживущих миллисекундных компонент послесвечения (Рубин, 1974), прямо отражающего кинетику восстановления кислорода из воды с помощью фотосистемы П. Источником возбуждающего света служила лампа накаливания мощностью 500 Вт. Свет от нее, пройдя систему линз, водяной фильтр и широкополосный фильтр КС-14, фокусировался на объекте, который был помещен в кварцевую кювету объемом 5 мл, фиксируемую при помощи держателя в камере фосфороскопа перед окошком ФЭУ-38. Сигнал замедленной флуоресценции измеряли при помощи установки ССД, которая позволяла одновременно производить регистрацию как в импульсном режиме в течение 10 с воздействия на объект прерывистым светом, так и в токовом в течение 2-3 мин снятия индукционной кривой послесвечения. Кроме того, интенсивность фотосинтеза оценивали стандартным радиоуглеродным методом по скорости фиксации C^{14} .

Были исследованы морские одноклеточные водоросли, относящиеся к разным таксономическим группам и, следовательно, характеризующиеся различным набором пигментов и уровнем фотосинтетических процессов.

Проведенные ранее исследования показали положительную корреляцию между скоростью потребления C^{14} культурами морских водорослей при их четырехсуточной инкубации и интенсивностью фотохемилюминесценции (Цвылев, Ткаченко, 1976). Из этого следует, что замедленная флуоресценция вполне адекватно характеризует уровень фотосинтетических процессов. Очевидно, об этом же могут свидетельствовать результаты измерения вертикального распределения фотосинтетической активности, оцениваемой по скорости фиксации C^{14} , и интенсивности фотохемилюминесценции природных популяций фитопланктона Черного моря (рис. 1). Действительно, обе кривые, как правило, однотипны; их максимальные значения лежат в области термоклина (около 15 м), несколько меньшие у поверхности и минимальные на глубине 25 м.

Важно, что распределение обоих параметров определяется гидрологическим режимом конкретного района, который в свою очередь формирует вертикальный ход продукционного процесса. Обнаружено некоторое расхождение кривых скорости фиксации C^{14} и интенсивности фотохемилюминесценции глубже термоклина, возможно, вследствие резкого изменения на этих горизонтах температурных и световых условий, которые накладывают отпечаток на величину той и другой фотосинтетических характеристик.

При измерении скорости фиксации C^{14} водоросли, находившиеся

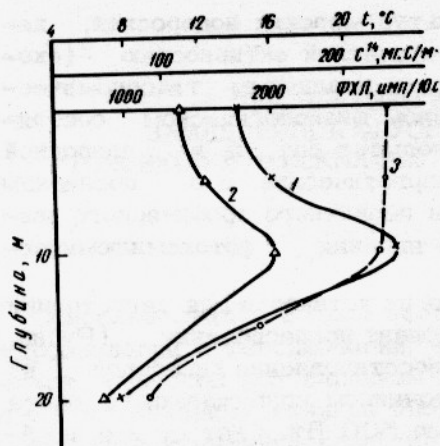


Рис. 1. Распределение фотосинтетической активности и температуры по всей вертикали в Черном море;

1 - фотохемилюминесценция (ФХЛ);
2 - фиксация C^{14} ; 3 - температура, $^{\circ}C$

при низкой температуре и малой освещенности, экспонировались в течение половины светового дня при повышенных значениях этих параметров, что, несомненно, отражается на их функциональной активности. В то же время фотохемилюминесценцию измеряли немедленно после отбора пробы (через 5–10 мин), что позволяет сохранить параметры естественной среды. Это дает возможность изучать метаболизм природных популяций фитопланктона, не подвергшихся адаптивным изменениям. Тем более, что низкий квантовый выход послесвечения практически не влияет на эффективность процесса фотосинтеза; это позволяет рассматривать освещение прерывистым светом как нефизиологическое воздействие.

Замедленная флуоресценция несет информацию не только об энергетическом состоянии вида или сообщества фитопланктона, но является также качественной характеристикой отдельной таксономической группы, а возможно, и вида. В этом убеждает анализ индукционных кривых водорослей *Glenodinium pholeassum*, *Peridinium trochoideum*, *Phaeodactylum tricornutum* и *Dunaliella tertiolecta*, относящихся к перидиниевым (первые два вида), диатомовым и зеленым (рис. 2), которые специфичны для каждого вида. Начальная вспышка послесвечения связана с метаболической активностью и численностью водорослей. Поэтому основными видовыми параметрами является характер спада кривых и уровень стационарного свечения.

Пока трудно объяснить, чем определяется первый из этих двух параметров. Величина же стационарного свечения зависит в первую очередь от скорости нециклического потока электронов (Венедиктов и др., 1973), т.е. энергетических особенностей водорослей. Таким образом, в условиях нормально функционирующего сообщества водорослей, возможно, удастся идентифицировать доминирующий вид по форме индукционной кривой. Но для этого потребуются иметь набор кривых для всех наиболее характерных преобладающих видов данного бассейна.

Однако индукционные кривые содержат сведения не только о видовой принадлежности фотосинтезирующего организма, но также о его метаболическом состоянии. Изменение формы кривой — верный

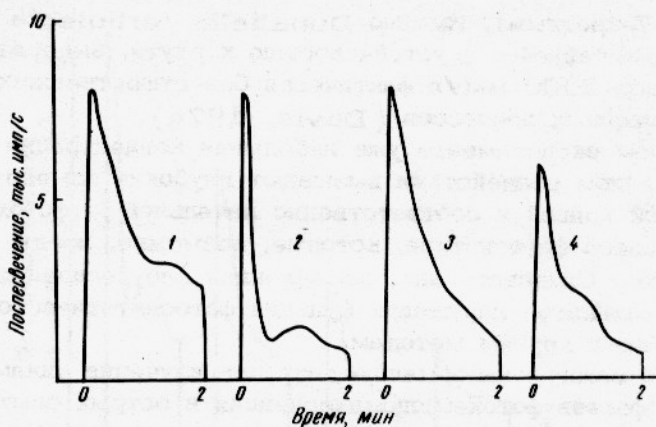


Рис. 2. Форма индукционных кривых у различных видов водорослей:

1 - *Glenodinium pholeassumi*; 2 - *Peridinium trochoideum*; 3 - *Phaeodactylum tricornutum*; 4 - *Dunaliella tertiolecta*

признак нарушения фотосинтетических процессов, что подтверждается экспериментом с водорослями, на которые в течение 2 ч воздействовала ртуть в количестве 20 мкг/л (рис. 3). Все четыре вида реагировали изменением каждого из трех параметров индукционной кривой: вспышки, формы и стационарного уровня. Но особенно сильно воздействовала ртуть на *Peridinium trochoideum*, для которой зарегистрировано пятикратное снижение уровня вспышки.

Напротив, *Dunaliella tertiolecta* реагировала некоторым увеличением вспышки замедленной флуоресценции и стационарного

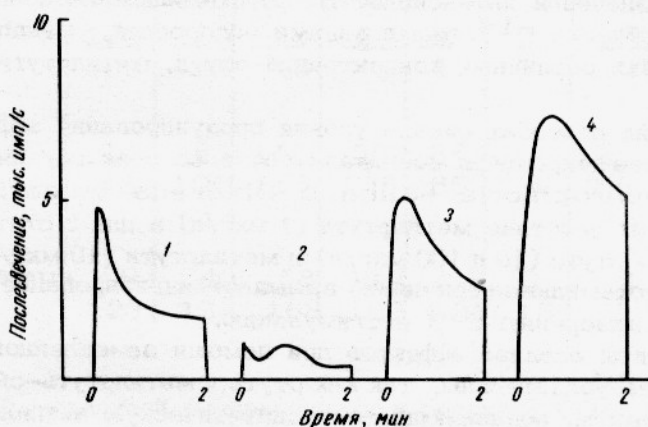


Рис. 3. Характер изменения индукционных кривых водорослей через 2 ч. после введения 20 мкг Hg/л (обозначения те же, что на рис. 2)

уровня (6-7-кратным). Именно *Dunaliella tertiolecta* отличается чрезвычайной устойчивостью к ртути, выдерживая концентрации до 2000 мкг/л фактически без существенного подавления продукционных процессов (Davis, 1976).

А в нашем эксперименте уже небольшие концентрации ртути при кратковременном воздействии вызывают глубокие изменения формы индукционной кривой и соответственно начальной фотохимической стадии процесса фотосинтеза, которые, возможно, носят необратимый характер. Следовательно, замедленная флуоресценция — чувствительный индикатор нарушений функций фотосинтетического аппарата, недоступных другим методам.

Особенно важную информацию дает при изучении динамики токсических эффектов фотохемилюминесценции в острых опытах, где первые сдвиги в уровне фотосинтетической активности могут проявиться в начале токсического процесса и в короткий срок наступит полное подавление фотосинтеза. Именно такая закономерность обнаружена при действии 10 мг Си/л на зеленую водоросль *Nephrochloris salina* (рис. 4).

Уже через 10 мин после введения металла уменьшается величина вспышки индукционной кривой на 30-35%, стационарная интенсивность свечения и изменяется форма кривой. Далее изменение этих параметров усиливается и через 1 ч достигает максимума, причем вспышка практически исчезает, а экспонента преобразуется в почти прямую линию. Даже наиболее консервативный параметр — уровень стационарного свечения — снижается в пять раз. Таким образом, изучение характера индукционной кривой замедленной флуоресценции, отражающей энергетику фотохимических процессов, позволяет производить экспрессную качественную и количественную оценку влияния антропогенного загрязнения на продуцирование первичного звена морской трофической цепи.

Обоснованность использования послесвечения в токсикологии подтверждается симбатностью характера изменений относительных значений интенсивности фотохемилюминесценции и скорости потребления C^{14} тремя видами водорослей, экспонируемых в присутствии различных концентраций ртути, метилртути и меди (таблица).

При обоих способах оценки уровня продуцирования эффекты стимуляции и ингибирования совпадали почти во всех случаях у водорослей *Nephrochloris salina* и *Chlorella vulgaris*. Правда, для хлореллы действие метилртути (1 мкг/л) и для *Scenedesmus obliquus* — ртути (10 и 100 мкг/л) и метилртути (10 мкг/л), по данным фотохемилюминесценции, вызывает ингибирование фотосинтеза, а по измерению C^{14} — стимуляцию.

Результаты анализа эффектов при помощи замедленной флуоресценции более убедительны, так как ртуть и метилртуть — сильные токсические агенты, подавляющие фотосинтетическую активность даже в низких концентрациях. Вероятно, расхождение в оценке эффектов действия токсикантов обусловлены различиями условий экспонирования (фотохемилюминесценция измерялась одномоментно, а потребление C^{14} в течение 4 ч) и механизмов, лежащих в основе

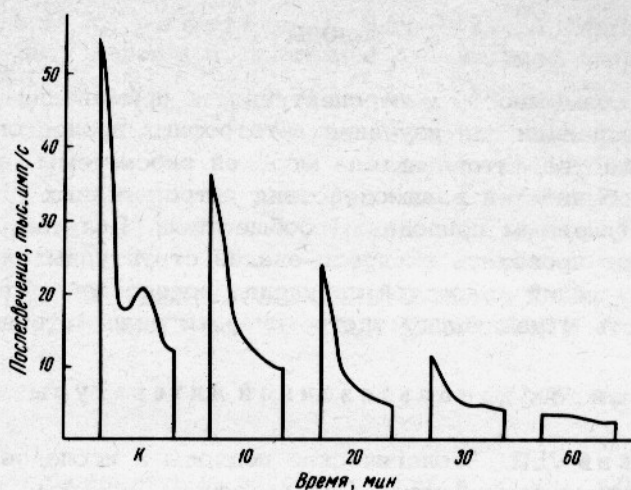


Рис. 4. Характер изменения индукционной кривой *Nephrochloris salina* через 10, 20, 30 и 60 мин после действия меди в концентрации 10 мг/л.

Относительные величины интенсивности фотохемилюминесценции (числитель) и скорости потребления C^{14} (знаменатель) водорослями в присутствии различных концентраций ртути, метилртути и меди

Водоросль	Концентрация токсикантов, мкг/л								
	Hg			CH ₃ - Hg			Cu		
	1	10	100	1	10	100	1	10	100
<i>Nephrochloris salina</i>	<u>120</u> 109	<u>120</u> 89	<u>95</u> 86	<u>80</u> 72	<u>60</u> 27	<u>0</u> 0	<u>103</u> 107	<u>230</u> 126	<u>260</u> 162
<i>Chlorella vulgaris</i>	<u>26</u> 43	<u>85</u> 106	<u>115</u> 116	<u>56</u> 105	<u>36</u> 65	<u>0</u> 2,4	<u>2</u> 3,5	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0
<i>Scenedesmus obliquus</i>	<u>9</u> 23	<u>40</u> 133	<u>58</u> 168	<u>117</u> 190	<u>38</u> 133	<u>0</u> 15	<u>6</u> 8	<u>3</u> 12	<u>0</u> 18

процессов замедленной флуоресценции и редукции CO_2 . Первый связан с первичными фотохимическими реакциями транспорта электрона, а второй — с конечными. Возможно, первичные реакции более чувствительны, о чем свидетельствует более выраженный токсический эффект действия токсикантов на фотохемилюминесценцию.

ВЫВОДЫ

Доказаны возможность и перспективность применения замедленной флуоресценции для изучения автотрофных процессов естественного сообщества фитопланктона морской экосистемы, а также для выявления особенностей взаимодействия антропогенных загрязнителей с ненарушенным природным сообществом. Получаемая информация позволит проводить экспресс-анализ структурных и функциональных показателей природной популяции водорослей и оценивать их устойчивость к различным экстремальным воздействиям.

Список использованной литературы

Брагинский Л.П. Экологические подходы к исследованию механизмов действия токсикантов в водной среде. — В кн.: Формирование и контроль качества поверхностных вод, Киев, 1975, вып. 1, с. 5-15.

О связи короткоживущих компонентов послесвечения фотосинтезирующих организмов с реакциями транспорта электронов при фотосинтезе. — "Труды МОИП", 1973, т.37, с.175-179. Авт.: О.П. Венедиктов, Д.Н. Маторин, Т.Е. Кренделева, Н.В. Шанторенко

Рубин А.Б. Современные методы исследования фотобиологических процессов. М. Изд-во МГУ, 1974. 85 с.

Цвылев О.П., Ткаченко В.Н. Фотосинтетическое послесвечение фитопланктона как возможный биологический показатель уровня продукционных процессов. Симпозиум по химическим основам биологической продуктивности Мирового океана и морей СССР. "Тезисы докладов". Ростов-на-Дону, 1976, с. 29-30.

PROSPECTS FOR APPLICATION OF RETARDED FLUORESCENCE TO ECOLOGICAL-TOXICOLOGICAL INVESTIGATIONS OF PHYTOPLANKTON

O. P. TSVYLEV, V. N. TKACHENKO

SUMMARY

Retarded fluorescence applied to algae reflecting their photosynthetic activity may be used in the studies of processes occurring in the autotrophic link of the ecosystem and of the impact of pollutants upon it. The specificity of induction curves of postluminescence of various species of algae is shown, which can contribute to the study of structural indicators of phytoplankton populations. The patterns of curves which change in the presence of various toxicants may serve as an indicator of the functional state of algae. The vertical distribution of retarded fluorescence and fixation rate of C^{14} in populations of phytoplankton display similar regularities.

Davis A. G. An assessment of the basis of mercury tolerance in *Dunaliella tertiolecta*. J. Mar. Biol. Ass. U. K., 1970, v. 56, No. 1, p. 39-57.

Luard, E. J. Sensitivity of *Dunaliella* and *Scenedesmus* (Chlorophyceae) to chlorinated hydrocarbons. Phycologia, 1973, v. 12, p. 29-33.

Уважаемые читатели!

Редколлегия тома и издательство "Пищевая промышленность" приносят свои извинения за допущенные в томе погрешности. В томе неправильно заверстаны иностранные источники в списках использованной литературы — после *Summary*; кроме того, они сдвинуты на одну статью: относящиеся к первой статье заверстаны после предисловия, относящиеся ко второй — после первой и так далее. Помимо этого, допущен ряд опечаток.

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
82	Рисунок, на оси ординат подпись к рисунку, 2-я строка снизу	мг/кг сырого вещества морская вода	% сырого вещества вода
78	7-я снизу 5-я снизу	... 2 раза ... к воде...	...в двух повторностях ...в воду...
99	13-я снизу	... в I,7; 10...	...в I,7; 10...
III	6 и 7-я снизу	... у плотвы сибирской популяции...	...популяции сибирской плотвы...
II 6	23, 24, 25-я снизу	0 - ширина лба; l_2 - длина нижней... l_{mx} - расстояние от... a_2 - расстояние между...	l_2 - ширина лба; l_{mx} - длина нижней... a_2 - расстояние от... p_1 - расстояние между...