

УДК 543.383.2: (582.232:577.115)

*А. В. Курейшевич, А. С. Потрохов, О. Г. Зиньковский,
В. П. Гусейнова, О. А. Сосновская*

**ПЕРЕКИСНОЕ ОКИСЛЕНИЕ ЛИПИДОВ В
КЛЕТКАХ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ СУАНОРНЫТА И
СНЛОРОРНЫТА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ
НЕФТЕПРОДУКТОВ**

На примере бензина показано, что нефтепродукты приводят к изменению интенсивности процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) в клетках водорослей. Наиболее существенно возрастало при добавках бензина (5 ПДК_р) количество продуктов ПОЛ у представителей планктонных Суанорныта. Увеличение количества ПОЛ в клетках водорослей сопровождалось уменьшением содержания хлорофилла *a* в единице объема культуральной среды. У исследованных видов перифитонных Суанорныта существенного увеличения количества ПОЛ в условиях наших экспериментов не зафиксировано. Наиболее толерантны к влиянию бензина представители зеленых водорослей.

Ключевые слова: синезеленые, зеленые водоросли, культуры, бензин, перекисное окисление липидов.

Многие токсиканты, как и другие факторы стресса, способны активировать процессы перекисного окисления липидов (ПОЛ) в клетках гидробионтов [7, 10, 17, 20]. Как известно, субстратом ПОЛ прежде всего выступают ненасыщенные жирные кислоты клеточных мембран.

Ускорение процессов ПОЛ является уникальной ответной реакцией клеток на действие неблагоприятных факторов внешней среды [13]. Количество продуктов ПОЛ (гидроперекиси липидов, диеновые конъюгаты, малоновый диальдегид) резко возрастает в растительных клетках при неблагоприятных условиях, в частности холодовом и тепловом шоке, интенсивном освещении, воздействии УФ-радиации [7, 13, 14]. Исследования на черноморских водорослях-макрофитах *Ceramium rubrum* (Huds.) Ag. и *Enteromorpha intestinalis* (L.) Link. показали, что содержание в их талломах малонового диальдегида положительно коррелирует с концентрацией тяжелых металлов [17]. Некоторые авторы предлагают использовать количественные показатели продуктов ПОЛ у водорослей-макрофитов для биоиндикации качества морской воды [20].

Сравнительные данные о влиянии нефтепродуктов на интенсивность протекания процессов ПОЛ в клетках различных видов Суанорныта и Снлорныта

© Курейшевич А. В., Потрохов А. С., Зиньковский О. Г., Гусейнова В. П., Сосновская О. А., 2011

gophyta нам не известны. Естественно предположить, что различные виды водорослей обладают неодинаковой чувствительностью к воздействию этих ксенобиотиков. Сведения такого плана представляют существенный интерес при выяснении механизмов формирования альгосообществ в условиях загрязнения водных экосистем нефтепродуктами. Последние относятся к числу наиболее распространенных загрязняющих веществ. Их содержание в ряде водных объектов Украины превышает предельно допустимые концентрации для водоемов рыбохозяйственного назначения (ПДК_р — 0,05 мг/дм³) в десятки, а иногда и в сотни раз [18, 25].

Целью настоящей работы было исследование изменения интенсивности процессов ПОЛ в клетках различных видов синезеленых и зеленых водорослей под влиянием одного из нефтепродуктов — бензина. Принимая во внимание, что нефтепродукты в концентрации 5—20 ПДК_р приводят к снижению содержания хлорофилла *a* в клетках водорослей и их биомассы [4, 8, 24], параллельно учитывались и эти показатели.

Материал и методика исследований. В работе были использованы культуры синезеленых водорослей — *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend Elenk. HPDP-6, *Anabaena variabilis* Kütz., HPDP-4, *Anabaena cylindrica* Lemm. HPDP-1, *Phormidium autumnale* f. *uncinata* (Ag.) Kondrat. (= *Phormidium uncinatum* (Ag.)) HPDP-36, *Oscillatoria acutissima* Kuff. HPDP-64, *Nostoc punctiforme* (Kütz.) Hariot HPDP-48 и зелёных — *Chlorella vulgaris* Beijer. HPDP-19, *Selenastrum gracile* Reinsch. HPDP-115, *Monoraphidium contortum* (Thur.) Kom.—Legn. IBASU-A 364. В таблице 1 представлены данные относительно биотопической приуроченности исследованных видов.

Водоросли выращивали на среде Фитцджеральда № 11 в модификации А. Цендера и П. Горема [9] при температуре 23—27°C и интенсивности ФАР 12 Вт/м² с чередованием светового и темного периодов 16 : 8.

Контрольные и опытные варианты перед добавлением бензина были выровнены по плотности. Добавки бензина марки А-92 Кременчугского нефтеперерабатывающего комбината вносили пипеткой в толщу культуральной среды водорослей на стационарной фазе их роста из расчета 5 ПДК_р (0,25 мг/дм³). После внесения нефтепродуктов, а также в процессе эксперимента колбы с культурами водорослей (объем 2 дм³) регулярно встряхивали.

Исследуемые показатели — содержание продуктов ПОЛ (гидроперекиси липидов, диеновые конъюгаты, малоновый диальдегид), а также хлорофилла *a* и сухую массу культур водорослей определяли на третьи сутки после добавления бензина.

Содержание хлорофилла *a* в культурах водорослей определяли стандартным экстракционным спектрофотометрическим методом на приборе SPECORD UV—VIS [28]. Концентрацию хлорофилла *a* рассчитывали по уравнению С. Джеффри и Ф. Хамфри [25]. Учёт сухой массы водорослей проводили стандартным весовым методом [9].

1. Экологические характеристики исследованных видов водорослей

Виды	Распространение	Литературные источники
<i>Microcystis aeruginosa</i>	Планктон (возбудитель «цветения» воды)	[6, 11]
<i>Anabaena variabilis</i>	Планктон, бентос, перифитон	[5, 11, 23]
<i>Oscillatoria acutissima</i>	Планктон, бентос, перифитон	[5, 11, 23]
<i>Anabaena cylindrica</i>	Бентос (преимущественно), встречается в планктоне	[5, 11]
<i>Phormidium autumnale</i> f. <i>uncinata</i>	Перифитон (преимущественно), бентос	[5, 11, 23]
<i>Nostoc punctiforme</i>	Перифитон, бентос	[5, 11, 23]
<i>Chlorella vulgaris</i>	Встречается везде	[19]
<i>Selenastrum gracile</i>	Планктон, перифитон, бентос	[11, 19]
<i>Monoraphidium contortum</i>	Встречается везде	[19]

Об интенсивности ПОЛ в клетках водорослей судили по содержанию продуктов ПОЛ — гидроперекисей липидов, диеновых конъюгатов и малонового диальдегида [12, 15, 16], общее содержание липидов определяли по методу [27]. Все исследуемые показатели измеряли в трех повторностях.

Результаты исследований и их обсуждение

В первой серии экспериментов с двумя видами синезеленых водорослей (*M. aeruginosa*, *Ph. autumnale* f. *uncinata*) и двумя зелеными (*Ch. vulgaris* и *S. gracile*) на третьи сутки после добавления в культуры водорослей бензина наблюдалось уменьшение содержания хлорофилла *a* в единице объема культуральной среды в опытных вариантах по сравнению с контрольными (табл. 2). Наиболее существенные изменения исследуемого показателя — на 44% — отмечены для планктонной синезеленой водоросли *M. aeruginosa*. Снизилась, хотя и в меньшей мере, сухая масса водорослей (на 18,5%).

Результатом этого стало существенное снижение (на 31,0% по сравнению с контролем) удельного содержания хлорофилла *a* в биомассе водорослей (в пересчете на сухой вес).

Подобные изменения наблюдались и у представителей зеленых водорослей, но в меньшей мере. Так, у *S. gracile* содержание хлорофилла *a* в единице объема культуральной среды в варианте с добавкой бензина уменьшилось по сравнению с контролем на 24,7%, сухой массы — лишь на 10,3%. У *Ch. vulgaris* количество хлорофилла *a* в опытном варианте уменьшилось только на 8,1%, а сухая масса была даже несколько выше, чем в контроле.

В таблице 3 представлены данные по содержанию продуктов ПОЛ в клетках исследованных видов водорослей на третьи сутки после добавления в культуральную среду бензина.

2. Содержание хлорофилла *a* и сухая масса водорослей на третьи сутки после добавления бензина

Варианты опыта	Содержание хлорофилла <i>a</i> , мг/дм ³	Сухая масса, г/дм ³	Хлорофилл <i>a</i> , мг/г сух. массы
<i>Microcystis aeruginosa</i>			
Исходная проба	0,49 ± 0,02	0,28 ± 0,01	1,75
Контроль	0,50 ± 0,03	0,27 ± 0,02	1,84
Опыт	0,28 ± 0,01	0,22 ± 0,01	1,27
<i>Selenastrum gracile</i>			
Исходная проба	2,50 ± 0,14	0,26 ± 0,01	9,61
Контроль	2,31 ± 0,12	0,29 ± 0,00	7,97
Опыт	1,74 ± 0,08	0,26 ± 0,01	6,68
<i>Chlorella vulgaris</i>			
Исходная проба	2,27 ± 0,12	0,39 ± 0,02	5,82
Контроль	1,85 ± 0,06	0,32 ± 0,03	4,81
Опыт	1,70 ± 0,04	0,35 ± 0,01	4,77

Характер изменения содержания продуктов ПОЛ у различных видов водорослей под воздействием бензина существенно отличался. Так, при добавке бензина у планктонной синезеленой водоросли *M. aeruginosa* отмечено увеличение содержания продуктов ПОЛ по сравнению с контролем (гидроперекисей липидов на 9,0%, диеновых конъюгатов на 113,1%, малонового диальдегида на 45,0%). В то же время у перифитонной водоросли *Ph. autumnale* f. *uncinata* указанная закономерность не наблюдалась. Так, в опытных вариантах эксперимента с *Ph. autumnale* f. *uncinata* отмечено даже незначительное уменьшение содержания продуктов ПОЛ по сравнению с контролем. У двух представителей зеленых водорослей количество ПОЛ или достоверно не изменялось по сравнению с контролем, или несколько уменьшалось.

Вторая серия экспериментов была проведена с бóльшим количеством водорослей и при более высокой температуре. Если во время первого эксперимента температура воздуха колебалась в пределах 23—25°C, то во второй она достигала 27°C.

На третьи сутки после добавления бензина в культуры синезеленых водорослей *M. aeruginosa* и *A. variabilis* наблюдалось уменьшение содержания хлорофилла *a* в единице объема культуральной среды (соответственно на 33,7 и 20,2% по сравнению с контролем) (табл. 4).

У зеленых водорослей эта закономерность проявлялась не так четко. В частности, содержание хлорофилла *a* в культуре *M. contortum* с добавкой бензина по сравнению с контролем достоверно не изменилось, в культуре *Ch. vulgaris* уменьшилось лишь на 13,0%, в культуре *S. gracile* — на 25,1%.

3. Изменение концентрации продуктов ПОЛ в клетках водорослей под воздействием бензина

Варианты опыта	Гидроперекиси, усл. ед/мг сух. массы	Диеновые конъюгаты, мкМ/мг сух. массы	Малоновый диальдегид, мкМ/мг сух. массы
<i>Microcystis aeruginosa</i>			
Контроль	0,078 ± 0,005	0,0061 ± 0,0003	0,0020 ± 0,0001
Опыт	0,085 ± 0,006	0,013 ± 0,0007	0,0029 ± 0,0001
<i>Phormidium autumnale f. uncinata</i>			
Контроль	0,271 ± 0,012	0,0355 ± 0,002	0,0021 ± 0,0001
Опыт	0,230 ± 0,017	0,0298 ± 0,001	0,0019 ± 0,0001
<i>Chlorella vulgaris</i>			
Контроль	0,040 ± 0,002	0,0084 ± 0,0005	0,0042 ± 0,001
Опыт	0,033 ± 0,002	0,0069 ± 0,0004	0,0040 ± 0,001
<i>Selenastrum gracile</i>			
Контроль	0,105 ± 0,005	0,031 ± 0,002	0,0038 ± 0,0002
Опыт	0,110 ± 0,002	0,028 ± 0,002	0,0025 ± 0,0001

Важно отметить, что добавление бензина к культурам водорослей в большей мере сказалось на изменении содержания хлорофилла *a* в единице объема культуральной среды, чем биомассы водорослей (по показателю сухого веса). Как видно из полученных данных (см. табл. 2, 4), сухая масса водорослей в вариантах с добавкой бензина достоверно не отличалась от контроля.

При этом нами отмечено уменьшение удельного содержания хлорофилла *a* в биомассе водорослей (в пересчете на сухую массу). Достаточно существенно этот показатель уменьшился (соответственно на 37,3 и 29,1% по сравнению с контролем) у синезеленых водорослей *M. aeruginosa* и *A. variabilis*.

В культурах зеленых водорослей (*M. contortum*, *Ch. vulgaris*, *S. gracile*.) удельное содержание хлорофилла *a* в биомассе водорослей (по показателю сухой массы) снизился по сравнению с контролем соответственно лишь на 0,9, 18, 5 и 25,1%.

Как и в первой серии экспериментов, наиболее заметное увеличение по сравнению с контролем количества продуктов ПОЛ обнаружено у планктонной синезеленой водоросли *M. aeruginosa* и у представителей Суанорфита *A. variabilis* и *O. acutissima*, которые развиваются в планктоне, бентосе и перифитоне (рис. 1).

Так, содержание гидроперекисей липидов в опытных вариантах культур *M. aeruginosa*, *A. variabilis* и *O. acutissima* увеличилось по сравнению с контролем соответственно на 93,3, 81,7 и 70,5%, диеновых конъюгатов — на 553,8,

4. Содержание хлорофилла *a* и сухая масса синезеленых и зеленых водорослей на третьи сутки после добавления бензина

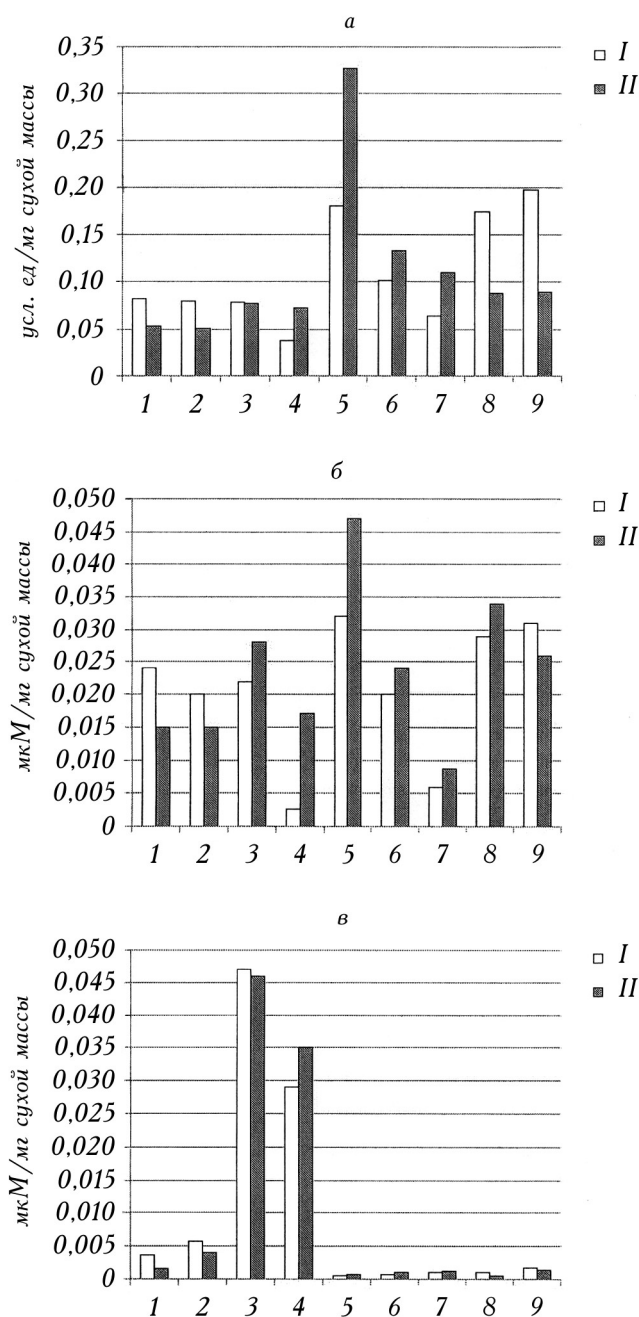
Варианты опыта	Хлорофилл <i>a</i> , мг/дм ³	Сухая масса, г/дм ³	Хлорофилл <i>a</i> , мг/г сух. массы
<i>Microcystis aeruginosa</i>			
Контроль	1,01 ± 0,05	0,265 ± 0,014	3,81
Опыт	0,67 ± 0,03	0,28 ± 0,013	2,39
<i>Anabaena variabilis</i>			
Контроль	1,19 ± 0,03	0,12 ± 0,007	9,92
Опыт	0,95 ± 0,02	0,135 ± 0,009	7,03
<i>Monoraphidium contortum</i>			
Контроль	1,02 ± 0,04	0,13 ± 0,008	7,85
Опыт	1,09 ± 0,02	0,14 ± 0,010	7,78
<i>Selenastrum gracile</i>			
Контроль	1,95 ± 0,05	0,11 ± 0,005	17,72
Опыт	1,46 ± 0,06	0,11 ± 0,006	13,27
<i>Chlorella vulgaris</i>			
Контроль	1,08 ± 0,05	0,15 ± 0,012	7,20
Опыт	0,94 ± 0,04	0,16 ± 0,010	5,87

46,9 и 45,0%, малонового диальдегида — на 20,7, 21,8 и 10,2%. У *N. punctiforme* и *A. cylindrica* увеличения содержания ПОЛ в опытных вариантах по сравнению с контролем в большинстве случаев не наблюдалось, у *Ph. autumnale* f. *uncinata* оно было не таким существенным, как у планктонных видов синезеленых водорослей (см. рис. 1).

Содержание гидроперекисей в опытных вариантах культуры *Ph. autumnale* f. *uncinata* увеличилось по сравнению с контролем всего на 15,6%, диеновых конъюгатов — на 13,5, малонового диальдегида — на 10,2%. Как видно из представленных выше данных, в условиях первого опыта при меньшей температуре воздуха при добавлении бензина к культуре этой водоросли увеличения содержания продуктов ПОЛ вообще не наблюдалось.

Важно отметить, что водоросль *Ph. autumnale* f. *uncinata* является доминантом в фитоперифитоне днепровских водохранилищ [20—22]. Она интенсивно развивается на стенах шлюзов, на бугах, береговых откосах, то есть является достаточно стойкой к влиянию различных абиотических факторов.

Наиболее толерантны к влиянию бензина оказались представители зеленых водорослей. В условиях нашего опыта увеличения содержания продуктов ПОЛ после добавления бензина в культуры *Ch. vulgaris*, *S. gracile* и

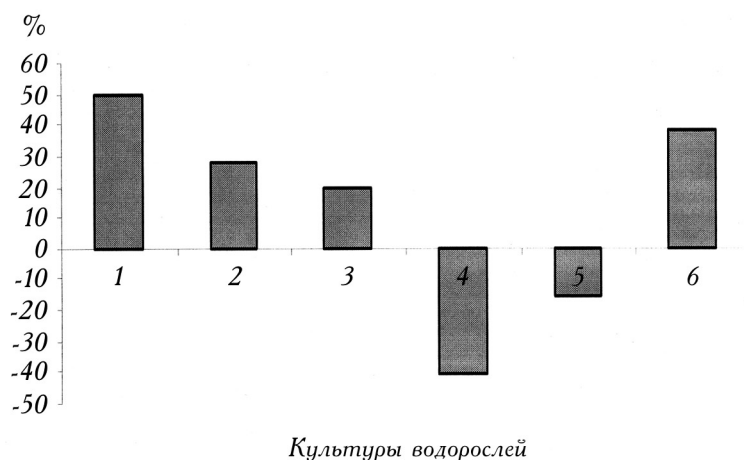


1. Влияние добавок бензина на содержание продуктов ПОЛ (*а* — гидроперекиси липидов, *б* — диеновые конъюгаты, *в* — малоновый диальдегид) в культурах зеленых (1—3) и синезеленых водорослей (4—9): I — контроль; II — опыт; 1 — *Monoraphidium contortum*; 2 — *Selenastrum gracile*; 3 — *Chlorella vulgaris*; 4 — *Microcystis aeruginosa*; 5 — *Anabaena variabilis*; 6 — *Phormidium autumnale* f. *uncinata*; 7 — *Oscillatoria acutissima*; 8 — *Anabaena cylindrica*; 9 — *Nostoc punctiforme*.

M. contortum в подавляющем большинстве случаев не наблюдалось (см. рис. 1).

В модельных экспериментах с фитопланктоном Каневского водохранилища нами получены аналогичные результаты. Наиболее устойчивыми к добавкам нефтепродуктов (бензин и дизтопливо) оказались представители зеленых водорослей, наименее стойкими — планктонные виды синезеленых, вызывающие «цветение» воды [4]. Повышенную устойчивость зеленых хлорококковых и перифитонных синезеленых водорослей к токсическому фактору (действию п-хинона) связывают с большим количеством гидрофобных соединений на поверхности их клеток, в то время как у планктонных видов синезеленых их содержание минимально [2,3].

К числу механизмов адаптации к стрессовым факторам, как известно, относится увеличение количества липидов в клетках гидробионтов. Сравнительный анализ данных по содержанию липидов у исследованных культур водорослей с добавками бензина свидетельствует о том, что у большинства ви-



2. Изменение содержания липидов по сравнению с контролем (принятым за 100%) в культурах различных видов водорослей на третьи сутки после добавления бензина: 1 — *Monoraphidium contortum*; 2 — *Selenastrum gracile*; 3 — *Chlorella vulgaris*; 4 — *Microcystis aeruginosa*; 5 — *Anabaena variabilis*; 6 — *Phormidium autumnale* f. *uncinata*.

дов этот показатель в опытных вариантах возрастает по сравнению с контролем (рис. 2). Так, у зеленых водорослей *M. contortum*, *S. gracile*, *Ch. vulgaris* содержание липидов увеличилось на 19,5—50,0%, у представителя перифитонных синезеленых *Ph. autumnale* f. *uncinata* — на 38,2%. В то же время у наиболее чувствительных к воздействию бензина синезеленых водорослей *M. aeruginosa* и *A. variabilis* этот показатель по сравнению с контролем уменьшился соответственно на 40,8 и 15,9%.

Необходимо отметить, что вносимые в культуральную среду невысокие концентрации бензина (0,25 мг/дм³) не могли повлиять на уровень содержания липидов в культурах водорослей, учитывая, что их сухая масса находилась в пределах 0,11—0,28 г/дм³, а содержание липидов в пересчете на сухое вещество составляло 9,4—36,5%.

Полученные нами данные свидетельствуют о существенных различиях в чувствительности представителей альгофлоры к воздействию бензина, что может быть важным фактором формирования альгосообществ. В условиях загрязнения воды нефтепродуктами преимущество перед другими видами водорослей будут иметь те, которые наиболее устойчивы к воздействию этих токсикантов.

Заключение

Реакция водорослей на воздействие бензина видоспецифична. При добавлении в культуральную среду бензина наиболее существенно количество продуктов ПОЛ по сравнению с контролем возрастало у представителя планктонных синезеленых водорослей *M. aeruginosa*, а также у эврибионтных Cyanophyta — *A. variabilis* и *O. acutissima*. Увеличение содержания продуктов ПОЛ в клетках водорослей коррелировало с уменьшением содержания хлорофилла *a* в их сухой

массе. У перифитонных синезеленых водорослей *N. punctiforme*, *Ph. autumnale* f. *uncinata* существенного повышения количества продуктов ПОЛ по сравнению с контролем под воздействием бензина в условиях наших опытов не зафиксировано. Такая реакция представителей перифитонных водорослей объясняется тем, что они, в силу своей экологии, более устойчивы к негативным факторам среды.

Наиболее толерантны к влиянию бензина представители зеленых водорослей. В условиях наших экспериментов увеличения по сравнению с контролем количества продуктов ПОЛ после добавления в культуральную среду бензина у *Ch. vulgaris*, *S. gracile* и *M. contortum* в большинстве случаев не наблюдалось.

В качестве одного из механизмов адаптации водорослей к влиянию бензина является, по нашим данным, повышение содержания липидов в клетках водорослей. Так, у наиболее толерантных к бензину видов водорослей содержание липидов в ответ на его воздействие повышалось, а у наименее чувствительных — наоборот, снижалось.

**

Досліджено вплив бензину на процеси пероксидного окиснення ліпідів у мікрводоростей. Встановлено, що реакція водоростей на вплив бензину видоспецифічна. Найбільш суттєво кількість продуктів ПОЛ під впливом бензину у порівнянні з контролем зростала у представників планктонних Cyanophyta, найменш — у зелених водоростей.

**

Effect of gasoline on processes of lipid peroxidation in the cells of microalgae has been investigated. It was established that reaction of algae to gasoline influence is specific for different species. The quantity of lipid peroxidation products increased under gasoline influence in comparison with the control the most essentially at representatives of planktonic Cyanophyta, the least considerably at green algae.

**

1. Грубичко В.В., Леус Ю.В. Перекисное окисление липидов и антиоксидантная защита у рыб (обзор) // Гидробиол. журн. — 2001. — Т. 37, № 1. — С. 64—79.
2. Гусейнова В.П., Сакевич А.И. Углеводороды клеточных оболочек пресноводных водорослей и некоторые аспекты их экологического метаболизма // Там же. — 2007. — Т. 43, № 4. — С. 62—76.
3. Гусейнова В.П. Роль гидрофобных веществ клеточных оболочек пресноводных водорослей в формировании их устойчивости к альгицидам // Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов: Материалы 2-й науч. конф. стран СНГ, 11—14 сент. 2007 г., Петрозаводск, Россия. — Петрозаводск, 2007. — С. 50.
4. Гусейнова В.П., Курейшевич А.В., Крылова Ю.В., Курашов Е.А. Отклик пресноводных микроводорослей на воздействие различных нефтепродуктов // Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы: Материалы III Всерос. конф. по водной токсикологии памяти Б. А. Фле-

- рова, 11—16 ноября 2008 г., Борок, Россия. — 2008. — Ч. 2. — С. 221—225.
5. Кондратьева Н.В. Синьо-зелені водорості — Cyanophyta. Клас Гормонієві — *Hormogoniophyceae*. Визначник прісноводних водоростей УРСР. — К.: Наук. думка, 1968. — Вип. 1, ч. 2. — 523 с.
 6. Кондратьева Н.В., Коваленко О.В., Приходькова Л.П. Синьозелені водорості. — Cyanophyta. Загальна характеристика. Клас Chroococcophyceae. Визначник прісноводних водоростей УРСР. — К.: Наук. думка, 1984. — 338 с.
 7. Клоченко П.Д., Сосновская О.А., Калиновская А.В. и др. Влияние ультрафиолетового излучения на процессы перекисного окисления липидов у пресноводных водорослей // Гидробиол. журн. — 2008. — Т. 44, № 6. — С. 55 — 64.
 8. Курейшевич А.В., Гусейнова В.П. Влияние нефтепродуктов на рост и содержание пигментов в культурах водорослей *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk. и *Desmodesmus armatus* (Chodat) E. Hegew. // Там же. — 2008. — Т. 44, № 2. — С. 75—87.
 9. Методы физиолого-биохимического исследования водорослей в гидробиологической практике / Л. А. Сиренко, А. И. Сакевич, Л. Ф. Осипов и др. — Киев: Наук. думка, 1975. — 247 с.
 10. Мурзаева С.В., Горохова О.Г. Перекись водорода и антиоксидантная активность микроводорослей // Актуальные проблемы водохранилищ: Тез. докл. Всерос. конф. с участием специалистов из стран ближнего и дальнего зарубежья, 29 окт. — 3 нояб. 2002 г., Борок, Россия. — Ярославль, 2002. — С. 218—219.
 11. Растительность и бактериальное население Днепра и его водохранилищ / Л. А. Сиренко, И. Л. Корелякова, Л. Е. Михайленко и др. — Киев: Наук. думка, 1989. — 232 с.
 12. Романова Л.А., Стальная И.Д. Метод определения гидроперекисей липидов с помощью тиоцианата аммония // Современные методы в биохимии — М.: Медицина, 1977. — С. 65—66.
 13. Рубин А.Б. Биофизические методы в экологическом мониторинге // Соросовский обозреват. журн. — 2000. — Т. 6, № 4. — С. 24—32.
 14. Скулачев В.П. Кислород в живой клетке: добро и зло // Там же. — 1996, № 4. — С. 7—13.
 15. Стальная И.Д. Метод определения диеновой конъюгации ненасыщенных высших жирных кислот // Современные методы в биохимии — М.: Медицина, 1977. — С. 63—64.
 16. Стальная И.Д., Гаришвили Т.Г. Метод определения малонового диальдегида с помощью тиобарбитуровой кислоты // Там же. — С. 66—68.
 17. Ткаченко Ф.П., Ситникова Ю.А., Куцын Е.Б. Состояние элементов антиоксидантной системы водорослей из разных по степени загрязнения районов Черного моря // Экология моря. — 2004. — Вып. 65. — С. 54—61.

18. Шаповал Т.Н., Кукля И.Г. Содержание нефтепродуктов в воде и донных отложениях днепровских водохранилищ // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Серія: Біологія. — 2001. — № 3 (14). — С. 237—239.
19. Царенко П.М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР. — Киев: Наук. думка, 1990. — 208 с.
20. Шахматова О.А., Парчевская Д.С. Перекисное окисление липидов некоторых видов черноморских водорослей и качество воды // Матеріали ХІ з'їзду Укр. бот. т-ва, 25—27 вер. 2001 р., Харків: Тез. доп. — Харків, 2001. — С. 431—432.
21. Шевченко Т.Ф. Водоросли перифитона Каневского и Кременчугского водохранилищ // Гидробиол. журн. — 1996. — Т. 32, № 6. — С. 32 — 42.
22. Шевченко Т.Ф. Фитоперифитон Днепродзержинского и Запорожского водохранилищ // Там же. — 1998. — Т. 34, № 1. — С. 33—40.
23. Шевченко Т.Ф. Видовой состав водорослей фитоперифитона водохранилищ Днепровского каскада // Гидробиол. журн. — 2007. — Т. 43, № 3. — С. 3—44.
24. Щербак В.І., Арсан О.М., Майстрова Н.В., Шаповал Т.М. Відгук фітопланктону на вміст нафтопродуктів у водних екосистемах // Наук.зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Серія: Біологія. — 2004. — № 3—4 (24). — С. 70—74.
25. Экологическая оценка воздействия гидротехнического строительства на водные объекты / В. Д. Романенко, О. П. Окснюк, В. Н. Жукинский и др. — Киев: Наук. думка, 1990. — 256 с.
26. Jeffrey S.W., Humphrey F.H. New spectrophotometric equations for determining chlorophyll *a*, *b*, *c*₁ and *c*₂ in higher plants, algae and natural phytoplankton // Biochem. Physiol. Pflanz. — 1975. — Bd. 167. — P. 171—194.
27. Knight J.A., Anderson Sh., Rawle J.M. Chemical basis of the sulfo-phosphovanillin reaction for estimation total serum lipids // Clinical chemistry. — 1972. — Vol. 18, N 3. — P. 199—202.
28. SCOR-UNESCO. Determination of photosynthetic pigments in sea water // Monographs on Oceanographic methodology, 1. — Paris: UNESCO, 1966. — P. 9—18.