

УДК [582.26/.27-11:[628.193:665.61](262.5.04)

СОДЕРЖАНИЕ ЛИПИДОВ В МАКРОФИТАХ РАЗНЫХ РАЙОНОВ ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ СЕВАСТОПОЛЯ (ЧЁРНОЕ МОРЕ)*

Миронов О. А., Миронов О. Г., Муравьёва И. П.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь,
Российская Федерация,
e-mail: mironov87@gmail.com

Проведено обобщение материалов по содержанию липидов в массовых видах водорослей-макрофитов, обитающих в прибрежных водах Севастополя, в районе бухт Артиллерийской, Карантинной, Казачьей, Балаклавской, Нефтегавани, парка Победы, Приморского бульвара. Содержание липидов в зелёных водорослях *Ulva rigida* в среднем составляет 2–5 % сухого веса, *Enteromorpha intestinalis* — 2–3 %, в красных водорослях *Callithamnion corymbosum* — 3–4 %, *Ceramium rubrum* — 2–3 %, в бурой водоросли *Cystoseira barbata* — 2 % сухого веса. Чёткой зависимости количества липидов от сезона года не установлено, но отмечена тенденция повышенного содержания липидов в водорослях из районов с большей степенью загрязнения. В эксперименте по влиянию соляра при трёхсуточной экспозиции статистически достоверной разницы в содержании липидов от их первоначальной концентрации в ульве не отмечено. В присутствии мидийных выделений, выступающих в роли своеобразного удобрения, наблюдается увеличение содержания липидов.

Ключевые слова: водоросли-макрофиты, липиды, прибрежные акватории, гидротехнические сооружения.

Введение

Экологические условия прибрежной зоны своеобразны. Важным фактором, влияющим на них, является загрязнение отдельных участков морских вод канализационными стоками и нефтепродуктами. Береговая линия в бухтах, как правило, занята гидротехническими сооружениями — это и вертикальные бетонные стенки набережных, и разнообразные причалы, которые создают дополнительные твёрдые субстраты для заселения морских организмов, и в частности макрофитов. Как указывала Калугина-Гутник [Калугина-Гутник, 1975], наибольшее количество видов водорослей-макрофитов распространено на глубине 0,1–5 м, где наблюдается максимальная освещённость, близкая к поверхностной, при этом наибольшая биомасса растительных обрастаний отвесных стен гидротехнических сооружений сосредоточена неширокой полосой вдоль уреза воды. У поверхности воды водоросли находятся в несколько иных условиях, чем на глубинах: здесь они в большей степени подвержены влиянию прибоя, волн, условий освещения, химического состава среды. В верхнем слое сильнее сказывается влияние города, порта, опреснителей, нефтепродуктов, отработанных вод города и судов: всё это расплывается на поверхности моря и нарушает состав морской воды, особенно в верхних слоях прибрежной полосы. Довольно чувствительны к изменению степени загрязнённости воды водоросли-макрофиты, поглощающие питательные вещества из окружающей среды всей поверхностью слоевища. Источниками загрязнения б. Севастопольской являются промышленные, коммунальные и ливневые стоки, нефтебаза, корабли, поступление загрязнений из атмосферы. Основными факторами, обеспечивающими существование ульвы, являются загрязнённость прибрежной зоны различными органическими веществами, поступающими в воду с канализационными стоками, и выделения других гидробионтов. В литературе указывается, что сточные воды, попадая в море, оказывают стимулирующее действие на развитие некоторых видов фитобентоса [Selvi, Shakila, Selvaraj, 1999].

* Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ ИнБИОМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ АААА-А18-118020890090-2).

Липиды и углеводороды имеют сходный химический состав, концентрируются в одних и тех же тканях морских организмов. При этом липиды способствуют накоплению нефтяных углеводородов в морской биоте. Последнее играет существенную роль при прогнозировании последствий нефтяного загрязнения прибрежной зоны моря, богатой живыми ресурсами. В этой связи изучение липидного состава подводной растительности представляет теоретический и практический интерес. Известно, что содержание липидов в макрофитах низкое [Барашков, 1972]. Некоторые авторы зарегистрировали самые высокие значения содержания липидов в отдельных представителях зелёных водорослей в начале вегетационного периода, в течение апреля — мая: 6,0–5,0 % сухого веса, затем содержание липидов стало уменьшаться и колебалось в пределах 2,5 и 3,7 % сухого веса [Haroон, Szaniawska, 1995]. Другие авторы показывают колебание общих липидов в красных водорослях от 0,4 до 3,6 % сухого веса [Хотимченко, Светашев, 1987].

Сведения о липидном составе черноморских макрофитов довольно ограничены. Небольшое количество липидов отмечено в водорослях в Одесском заливе, например в *Enteromorpha intestinalis*, — 3,17 % абсолютно сухой массы [Куцин, Ткаченко, 2011]. В настоящее время в прибрежной зоне поверхность искусственных подводных сооружений, где поселяются водоросли, может по площади превышать поверхность естественных субстратов. В этой связи представляет интерес изучение уровня липидов в водорослях, обитающих на гидротехнических сооружениях. Установлено, что при низкой освещённости, например под пирсами и нефтяными платформами, уровень липидных компонентов ульвы в 2,5–3,6 раза выше, чем при ярком освещении [Хотимченко, 2002].

Целью работы явилось обобщение данных о содержании липидов в массовых видах водорослей-макрофитов в разных по степени загрязнения участках акватории Севастополя, а также определение в экспериментальных условиях влияния различных концентраций соляра в морской воде и органических веществ (прижизненных выделений мидий) на химический состав ульвы, в частности на содержание липидов.

Материал и методы

Сбор материала проводился в различных акваториях, прилегающих к побережью Севастополя (рис. 1).

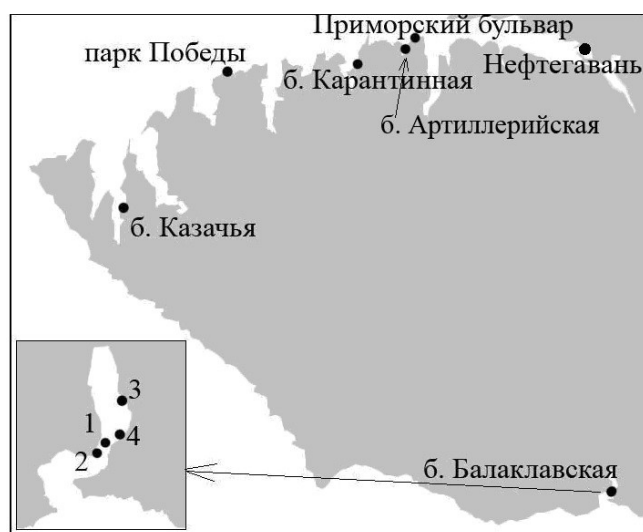


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб в прибрежной акватории Севастополя

По данным 1989–1991 гг., на карте, составленной специализированной инспекцией по охране Чёрного моря, отмечены: в б. Казачьей — один береговой аварийный выпуск канализации, в б. Артиллерийской — два стока ливневой канализации, в Нефтегавани — береговой аварийный выпуск канализации и источник загрязнения нефтепродуктами.

По уровню загрязнения донных осадков нефтепродуктами [Миронов, Миловидова, Кирюхина, 1986] б. Казачья является практически чистой (в 100 г донного осадка содержится < 0,05 г хлороформэкстрагируемых веществ), б. Артиллерийская и Нефтегавань имеют V уровень загрязнения нефтепродуктами (в 100 г донного осадка — 1,0–3,0 г хлороформэкстрагируемых веществ). Донные осадки б. Балаклавской и Карантинной относятся к III–IV уровням загрязнения.

Пробы водорослей отбирали ежемесячно с мая 1990 по апрель 1991 г. в приповерхностном слое 0–30 см: с бетонной стенки причала б. Артиллерийской, бетонных свай причалов Нефтегавани и б. Казачьей — ручным скребком с борта фелюги. Аналогичные пробы с апреля по июль 1991 г. отбирали в б. Карантинной и в июле 2005 г. — в б. Балаклавской.

Объектами исследования явились *Ulva rigida*, *Callithamnion corymbosum*, *Ceramium rubrum*, *Enteromorpha intestinalis*.

С мая по сентябрь 2010 и 2012 гг. отбирались пробы *Cystoseira barbata* на станциях Приморского бульвара, парка Победы и б. Казачьей, делалось это вручную, с берега. В это же время проводился химический анализ морской воды на содержание нефтяных углеводородов методом инфракрасной спектрометрии. Установлено, что акватория Севастопольской бухты в районе Приморского бульвара наиболее сильно подвержена нефтяному загрязнению, в то время как в акватории парка Победы экологическая обстановка по этому показателю более благополучная. При этом б. Казачья по нефтяному загрязнению в период 2010–2012 гг. была условно чистой [Миронов, Миронов, 2015].

Предварительно адаптированные целые талломы ульвы были помещены в пятилитровые сосуды с морской водой из расчёта 1 г/л сырого веса водорослей: в контрольном сосуде — ульва и морская вода, в опытном сосуде — ульва и морская вода с добавлением природных органических соединений (прижизненных выделений мидий). Мидии поместили в 10-литровое ведро с морской водой, в котором они занимали 1/3 часть объёма. Ежедневно из сосудов отбирали по 1 л воды и добавляли соответственно в контрольную ёмкость 1 л свежей морской воды, в опытную — 1 л мидийных выделений (визуально мутная вода). В ведро с мидиями ежедневно добавляли свежую морскую воду. Эксперимент продолжался 12 дней при естественном освещении.

Во втором эксперименте талломы водоросли были помещены в три пятилитровых сосуда с морской водой, взятой из бухты непосредственно у здания ИнБЮМ. В первом сосуде — ульва и морская вода из бухты, во второй сосуд на поверхность воды внесено 0,2 мл соляра, в третий сосуд — 2,0 мл соляра. Сосуды находились на открытом воздухе при естественном освещении, температура воды в сосудах соответствовала таковой в бухте (9 °C). Через трое суток водоросли изъяли для химического анализа.

Талломы водорослей-макрофитов (приблизительно 10 г) высушивали при температуре 105 °C, затем растирали в фарфоровой ступке до порошкообразного состояния. Для анализа брали навески по 100 мг сухого веса образцов макрофитов в трёх повторностях, которые помещали в центрифужные пробирки и проводили трёхкратную экстракцию смесью хлороформ — этанол (2 : 1). Собранные экстракты чистили по методу Фолча дистиллированной водой. Липиды определяли по цветной реакции с фосфо-ванилиновым реактивом по Агатовой [Руководство по современным..., 2004].

Результаты представлены средней арифметической \pm ошибка средней арифметической и обработаны по критерию Стьюдента ($p < 0,05$).

Результаты и обсуждение

В трёх бухтах практически во всех пробах присутствовали ульва, каллитамнион и церамиум, тогда как энтероморфа в точке отбора в б. Артиллерийской отсутствовала.

Таблица 1

Сезонная динамика содержания липидов (мг/100 мг сух. в.) в макрофитах из трёх акваторий Севастополя

Вид водорослей	Нефтегавань			
	лето	осень	зима	весна
<i>Ulva rigida</i>	1,76 ± 0,49*	1,38 ± 0,43*	3,81 ± 0,34* '	2,33 ± 0,32*
<i>Callithamnion corymbosum</i>	2,84 ± 0,84*	5,58 ± 0,98*	4,06 ± 1,00	4,44 ± 0,34
<i>Ceramium rubrum</i>	2,86 ± 0,88	2,55 ± 0,50	2,05 ± 0,27*	3,99 ± 0,86*
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	2,29 ± 0,29* '	3,89 ± 0,65*	4,21 ± 0,40*	2,82 ± 0,88

Вид водорослей	б. Артиллерийская			
	лето	осень	зима	весна
<i>Ulva rigida</i>	2,05 ± 0,99	1,90 ± 0,30*	3,09 ± 0,67*	2,98 ± 0,29 '
<i>Callithamnion corymbosum</i>	2,60 ± 0,72*	4,11 ± 0,90	3,81 ± 0,68*	5,56 ± 0,18*
<i>Ceramium rubrum</i>	2,56 ± 0,06* '	2,56 ± 0,21*	3,33 ± 0,29*	3,70 ± 0,86

Вид водорослей	б. Казачья			
	лето	осень	зима	весна
<i>Ulva rigida</i>	1,10 ± 0,01*	1,69 ± 0,09*	2,07 ± 0,17* '	2,13 ± 0,07* '
<i>Callithamnion corymbosum</i>	1,68 ± 0,22*	3,94 ± 0,74*	3,93 ± 0,44*	5,06 ± 0,38*
<i>Ceramium rubrum</i>	0,96 ± 0,13* '	2,58 ± 0,22*	3,11 ± 0,68*	5,40 ± 1,84
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	1,55 ± 0,11* '	2,87 ± 0,39*	3,30 ± 0,23*	1,76 ± 0,08*

* — достоверные различия $p < 0,05$ между сезонами

' — достоверные различия $p < 0,05$ между бухтами по сезонам

Наибольшая концентрация липидов в ульве из трёх бухт отмечена в зимне-весенний период, в красных водорослях — весной, в энтероморфе из двух бухт — зимой. Чёткой зависимости содержания липидов от сезона года установить не удалось, но отмечается тенденция повышенного содержания липидов в отдельные сезоны в водорослях из Нефтегавани и б. Артиллерийской по сравнению с б. Казачьей, что можно объяснить локальными условиями и различной нагрузкой на эти акватории.

Средние величины липидов за год, выведенные на основании данных в табл. 1, совпадают с аналогичными показателями в других акваториях, прилегающих к Севастополю, в частности в б. Карантинной (табл. 2).

Таблица 2

Среднее содержание липидов в водорослях прибрежной зоны Севастополя, мг/100 мг сух. в.

Водоросль	Нефтегавань	б. Артиллерийская	б. Карантинная	б. Казачья
<i>Ulva rigida</i>	2,32 ± 0,4	2,51 ± 0,56	2,92 ± 0,2*	1,75 ± 0,09*
<i>Callithamnion corymbosum</i>	4,23 ± 0,79	4,02 ± 0,62	3,12 ± 0,21	3,65 ± 0,44
<i>Ceramium rubrum</i>	2,86 ± 0,63	3,04 ± 0,36	2,34 ± 0,09	3,01 ± 0,72
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	3,3 ± 0,37*	—	—	2,37 ± 0,36*

* — достоверные различия $p < 0,05$ между бухтами

Отдельно от системы севастопольских бухт расположена Балаклавская бухта. Данные по содержанию общих липидов в ульве представлены в табл. 3.

Таблица 3

Содержание липидов в ульве Балаклавской бухты, мг/100 мг сух. в.

№ станции	Содержание липидов
1	4,78 ± 0,1
2	4,93 ± 0,05
3	3,84 ± 0,03
4	5,91 ± 0,3

Наиболее близкие экологические условия, в частности по нефтяному загрязнению, Балаклавская бухта имеет с районами Нефтегавани и б. Артиллерийской. Однако индивидуальные особенности б. Балаклавской: длинная, узкая, с большим скоплением рыбацко-прогулочных плавсредств и выходом городского канализационного стока, приводящими к неизбежному загрязнению акватории, — создали условия для повышенного содержания липидно-углеводородного комплекса в ульве по сравнению с Нефтегаванью и б. Артиллерийской.

Среди фитоценозов, обитающих в прибрежной зоне Севастополя, значительная роль принадлежит бурой водоросли цистозире (*Cystoseira barbata*). Она образует заросли в прибрежной акватории Севастополя и не обнаружена в массе на причалах. Во всех трёх районах (Приморский бульвар, парк Победы, б. Казачья) уровень содержания общих липидов в цистозире за два года наблюдений был практически одинаков, о чём свидетельствуют средние данные за пятимесячный период наблюдений в 2010 и 2012 гг. Близкие значения липидов были отмечены в образцах цистозире, собранных в Нефтегавани в период с ноября 1990 по май 1991 г. (табл. 4).

Таблица 4

Содержание липидов (мг/100 мг сух. в.) в цистозире

год	Нефтегавань	Приморский бульвар	парк Победы	б. Казачья
1990-91	2,49 ± 0,28	–	–	–
2010	–	1,99 ± 0,12	1,49 ± 0,11	2,38 ± 0,21
2012	–	1,95 ± 0,17	1,76 ± 0,15	1,89 ± 0,17

Известно, что в экспериментах свежесобранные водоросли-макрофиты всегда нормально функционируют, получая достаточно света и находясь при температуре природной морской воды [Хайлов, 1971]. Результаты эксперимента приведены в табл. 5.

Таблица 5

Данные эксперимента по воздействию соляра на ульву

Концентрация соляра в воде, мг/л	Количество липидов, мг/100мг сух. в.
0,12	4,10 ± 0,62
0,20	3,35 ± 1,19
10,0	3,40 ± 0,46

Первоначально (до эксперимента) концентрация липидов в ульве составляла $3,59 \pm 0,75$ мг/100 мг сухого веса. Как видно из представленных материалов, статистически достоверной разницы в содержании липидов от их первоначальной концентрации в ульве не наблюдается. Последнее можно объяснить кратковременностью экспозиции (трое суток).

При более длительном воздействии нефтяного загрязнения в концентрациях свыше 1 мг/л отмечаются изменения в биохимическом составе макрофитов [Миронов, 1985].

Во втором эксперименте в присутствии дополнительного количества органических веществ (мидийных выделений) наблюдается увеличение ($p < 0,05$) содержания липидов с $4,13 \pm 1,13$ до $6,8 \pm 0,28$ мг/100 мг сухого веса. Наблюдались количественные изменения в химическом составе ульвы. Мидийные выделения, вероятно, выступили в роли своеобразного удобрения, так как наблюдалось увеличение СОВ (суммарное органическое вещество) ульвы, которое составило 116,5 % по сравнению с контрольным образцом, при этом возросла доля БНП (белок, нуклеиновые кислоты и их предшественники — аминокислоты, свободные нуклеотиды), липидов и пигментов [Муравьёва, 2004].

Выводы

Проведено обобщение материалов по содержанию липидов в массовых видах водорослей-макрофитов, обитающих в прибрежных водах Севастополя. Содержание липидов в зелёных водорослях *Ulva rigida* в среднем составляет 2–5 % сухого веса, *Enteromorpha intestinalis* — 2–3 %, в красных водорослях *Callithamnion corymbosum* — 3–4 %, *Ceramium rubrum* — 2–3 %, в бурой водоросли *Cystoseira barbata* — 2 % сухого веса. Чёткой зависимости количества липидов от сезона года не установлено, но отмечена тенденция повышенного содержания липидов в водорослях из районов с большей степенью загрязнения. В эксперименте по влиянию соляра при трёхсуточной экспозиции статистически достоверной разницы в содержании липидов от их первоначальной концентрации в ульве не отмечено, а при наличии прижизненных выделений мидий в морской воде происходит увеличение содержания отдельных классов органических веществ в исследуемых водорослях, в том числе и липидов.

Список литературы

1. Барашков Г. К. Сравнительная биохимия водорослей. – Москва : Пищ. пром-сть, 1972. – 336 с.
2. Калугина-Гутник А. А. Фитобентос Чёрного моря / АН УССР, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского. – Киев : Наукова думка, 1975. – 248 с.
3. Куцин Е. Б., Ткаченко Ф. П. Содержание липидов и их жирнокислотный состав водорослей-макрофитов Чёрного моря // Гидробиологический журнал. – 2011. – Т. 47, № 2. – С. 65–71.
4. Миронов О. Г. Взаимодействие морских организмов с нефтяными углеводородами. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1985. – 127 с.
5. Миронов О. Г., Миловидова Н. Ю., Кирюхина Л. Н. О предельно допустимых концентрациях нефтепродуктов в донных осадках прибрежной зоны Чёрного моря // Гидробиологический журнал. – 1986. – Т. 22, № 6. – С. 76–78.
6. Миронов О. Г., Миронов О. А. Нефтяные углеводороды в морской воде прибрежной акватории г. Севастополя // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2015. – № 9. – С. 25–29.
7. Муравьёва И. П. Влияние освещённости и характера загрязнения на химический состав *Ulva rigida* Ag. // Экология моря. – 2004. – Вып. 66. – С. 72–78.
8. Руководство по современным биохимическим методам исследования водных экосистем, перспективных для промысла и марикультуры / Всерос. науч.-исслед. ин-т рыб. хоз-ва и океанографии ; под ред. А. И. Агатовой. – Москва : ВНИРО, 2004. – 123 с.
9. Хайлов К. М. Экологический метаболизм в море / АН УССР, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского. – Киев : Наукова думка, 1971. – 252 с.
10. Хотимченко С. В., Светашев В. И. Жирные кислоты морских макрофитов // Биология моря. – 1987. – № 6. – С. 5–15.

11. Хотимченко С. В. Состав жирных кислот морских водорослей из разных по освещению мест обитания // Биология моря. – 2002. – № 3. – С. 232–234.
12. Haroon A. M., Szaniawska A. Variations in energy values and lipid content in *Enteromorpha* sp. From the Gulf of Gdansk // Oceanologia. – 1995. – Vol. 37, no. 2. – P. 171–180.
13. Selvi M., Shakila P., Selvaraj R. Studies on biochemical contents of macroalgae from Cuddalore and Thirumullaiavassal estuaries of Tamil Nadu // Seaweed Research and Utilisation. – 1999. – Vol. 21, no. 1/2. – P. 99–103.

THE CONTENT OF LIPIDS IN MACROPHYTES OF DIFFERENT COASTAL WATER AREAS OF SEVASTOPOL (THE BLACK SEA)

Mironov O. A., Mironov O. G., Muraviova I. P.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,
e-mail: mironov87@gmail.com

Materials on the content of lipids in mass algae macrophytes in the coastal waters of Sevastopol bays were summarized. The research area covered Artilleriyskaya, Karantinnaya, Kazachaya, Balaklavskaya bays and Neftegavan', Park Pobedy, Primorsky Boulevard. The lipid content in green algae *Ulva rigida* is on average 2 – 5% dry weight, *Enteromorpha intestinalis* 2 – 3 %, in red algae *Callithamnion corymbosum* 3 – 4 %, *Ceramium rubrum* 2–3 %, in brown algae *Cystoseira barbata* on average 2 % dry weight. A clear dependence of the lipids amount on the season of the year has not been established, but there is a tendency to increase the content of lipids in algae from areas with a higher degree of pollution. The experiment on the effect of solar oil during three-day exposure of *Ulva rigida* gave no statistically significant difference in the content of lipids compared to the native algae. The presence of mussel secretions, which acts as a kind of fertilizer, increases the content of lipids in the observed algae.

Keywords: macrophyte algae; lipids; coastal waters; hydrotechnical structures.

Сведения об авторах

Миронов Олег Андреевич	кандидат биологических наук, старший научный сотрудник ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», mironov87@gmail.com
Миронов Олег Глебович	доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН»
Муравьёва Ирина Петровна	младший научный сотрудник ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН»

Поступила в редакцию 12.03.2020 г.
Принята к публикации 02.03.2021 г.