



УДК [628.193:665.61+577.115]:582.272(262.5)

**НЕФТЯНЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ И ОБЩИЕ ЛИПИДЫ
В БЕРЕГОВЫХ ВЫБРОСАХ *CYSTOSEIRA BARBATA* (STACKH.) C. AGARDH
В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ СЕВАСТОПОЛЯ (ЧЁРНОЕ МОРЕ)**

© 2017 г. **О. А. Миронов**, канд. биол. наук, н. с., **И. П. Муравьева**, канд. биол. наук, м. н. с.

Институт морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

E-mail: mironov87@gmail.com

Поступила в редакцию 15.02.2017 г. Принята к публикации 23.06.2017 г.

Прибрежная зона Севастополя, особенно её рекреационная часть, испытывает существенное антропогенное воздействие в результате пребывания большого количества отдыхающих, а также из-за поступления сюда городских и ливневых стоков, имеющих в своём составе и нефтяные углеводороды. Здесь обширные подводные заросли образует бурая водоросль *Cystoseira barbata*. Оторванные от субстрата водоросли, находящиеся у кромки воды, перемешиваются с береговыми выбросами, что приводит к вторичному загрязнению как береговой полосы, так и прибрежной акватории. В то же время свежоторванные растения используются представителями различных таксономических групп, активно включаясь в пищевую цепь. В этой связи целью настоящей работы является изучение липидно-углеводородного состава *Cystoseira barbata* в береговых выбросах. Количество нефтяных углеводородов определялось гравиметрическим методом, а количество общих липидов — по цветной реакции с фосфо-ванилиновым реактивом. Полученные данные свидетельствуют о более высоких уровнях содержания хлороформ-экстрагируемых веществ, общих липидов и нефтяных углеводородов в макрофитах в б. Круглой по сравнению с таковыми в акватории парка Победы. Береговые выбросы цистозир могут быть источником вторичного загрязнения нефтяными углеводородами прибрежных акваторий.

Ключевые слова: цистозира, нефтяные углеводороды, общие липиды, вторичное загрязнение

Экологическое состояние прибрежных вод в значительной степени связано с состоянием береговой зоны. Прибрежная зона моря отличается от его открытых районов повышенной биологической продуктивностью и высоким рекреационным потенциалом и является объектом активной хозяйственной деятельности человека. Важная роль в техногенном воздействии принадлежит углеводородным энергоносителям, которые являются источником загрязнения прибрежных вод, почвы и атмосферного воздуха. Относительная замкнутость системы морских мелководий делает её особенно уязвимой как в отношении нарушения экологии гидробионтов, так и в отношении биоаккумуляции веществ, опасных для человека [2].

Водоросли макрофиты являются ценным морепродуктом, который используется человеком на протяжении многих веков. По данным А. А. Калугиной-Гутник, в Чёрном море наиболее высокой продукционной способностью обладала *Cystoseira* (8615 г·м⁻²), что делало её объектом промысла [3]. Следует отметить, что данный вид и населяющая его фауна использовались для оценки экологического состояния прибрежной акватории, в частности для изучения биопотоков нефтяных углеводородов. На основании многолетних исследований нами впервые получены данные о содержании нефтяных углеводородов и общих липидов в цистозире, произрастающей в прибрежной мелководной зоне акватории

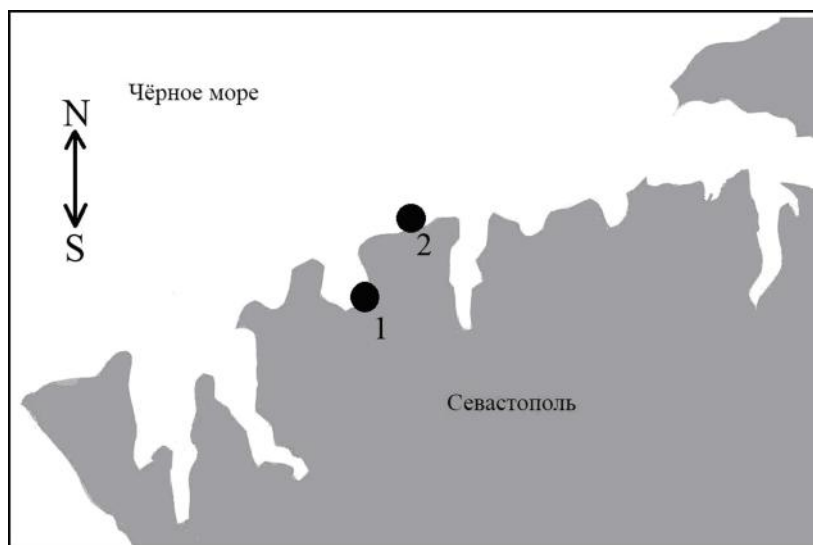


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб

Fig. 1. The scheme of sampling stations

Юго-Западного Крыма [5]. Однако в настоящее время цистозира занесена в Красную книгу, что не только исключает её из промысла, но и делает невозможным сбор материала для научного изучения данного макрофита. В этой связи возрастает интерес к выбросам на берег водорослевой массы, которая после штормов оказывается на линии уреза [8]. Формирование, появление и накопление штормовых выбросов — процесс естественный и обусловленный не только гидродинамическими нагрузками, но и биологическими особенностями донной растительности (естественной регуляцией плотности водорослевого покрытия, отмиранием растений, циклами развития и др.) [1]. Выбросы цистозир, являясь ценным сырьём, с другой стороны, при отмирании разлагаются, и значительная часть органических и минеральных веществ попадает в море, что приводит к вторичному загрязнению морской воды [1, 2].

Целью настоящей работы является изучение липидно-углеводородного состава *Cystoseira barbata* в береговых выбросах.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Отбор проб проводился ежемесячно с января по декабрь 2016 г. на двух станциях (рис. 1).

Станция 1 располагалась в вершине б. Круглой на песчаном берегу, а станция 2 — на открытом галечном пляже парка Победы, в зоне интенсивного водообмена. Несмотря на различия в гранулометрическом составе грунтов данных станций, цистозира везде произрастала на отдельных валунах. Многолетние санитарно-экологические исследования отдела морской санитарной гидробиологии Института морских биологических исследований (ранее Института биологии южных морей) показывают более высокую степень загрязнённости б. Круглой, особенно её вершинной части, что может быть связано с её закрытостью и более интенсивной антропогенной нагрузкой [6, 7, 9].

Береговые выбросы цистозир, собранные на линии уреза, во влажном состоянии помещали в полиэтиленовые пакеты и доставляли в лабораторию. Макрофиты в количестве 100 г непродолжительное время (около 30 секунд) обмывали хлороформом для снятия поверхностного загрязнения; за короткий период воздействия растворитель не успевал глубоко проникнуть в таллом цистозир. Смыв упаривали и взвешивали. Затем с поверхности водорослей смывали микроперифитон интенсивным перемешиванием стеклянной палочкой в стакане объёмом 1 л с дистиллированной водой в течение 10 мин. Дистиллированная вода применялась для исключения солей морской воды на последующих этапах анализа. Смыв отстаивали в течение суток, затем надосадочную воду осторожно сливали, а оставшийся осадок высушивали при температуре 25 °С. Параллельно 10 г сырой массы цистозир высушивали

в сушильном шкафу при температуре 100 °С в течение 5 ч. Липидно-углеводородный комплекс из поверхностного загрязнения и навесок высушенных и измельченных образцов (макрофиты, микроперифитон) экстрагировали смесью хлороформ — этанол в соотношении 2 : 1. В полученном хлороформ-экстрагированном веществе (ХЭВ), включающем липиды и углеводороды, в том числе нефтяные, количество нефтяных углеводородов (НУ) определяли гравиметрическим методом [4] после пропускания пробы через колонку с окисью алюминия для отделения полярных соединений, а количество липидов — по цветной реакции с фосфо-ванилиновым реактивом. Все анализы проводили в трёхкратной повторности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Количество ХЭВ, общих липидов и нефтяных углеводородов в поверхностном загрязнении штормовых выбросов представлено в табл. 1.

Таблица 1. Среднесезонная концентрация ХЭВ, общих липидов и нефтяных углеводородов ($\text{мг} \cdot 10^{-2}$ г сырого веса) в поверхностном загрязнении штормовых выбросов

Table 1. Average seasonal concentrations of chloroform-extracted substances, total lipids and oil hydrocarbons ($\text{mg} \cdot 10^{-2}$ g of wet weight) in the surface contamination of storm casts

Район	Зима	Весна	Лето	Осень
ХЭВ				
б. Круглая	1.68±0.01	3.04±1.30	2.61±0.01	2.31±0.11
парк Победы	1.09±0.01	4.12±3.13	1.29±0.27	1.63±0.19
Липиды				
б. Круглая	0.44±0.01	0.44±0.03	1.23±0.01	0.42±0.01
парк Победы	0.36±0.01	0.37±0.23	0.42±0.03	0.27±0.04
НУ				
б. Круглая	0.10±0.01	0.37±0.19	0.23±0.01	0.17±0.10
парк Победы	0.06±0.01	1.14±1.00	0.14±0.02	0.13±0.02

Отметим, что береговые выбросы цистозеры в б. Круглой с июля по сентябрь отсутствовали, что соотносится с сезонными гидрологическими и синоптическими особенностями данной акватории.

Поскольку поверхностное загрязнение смывалось с нативных водорослей, его количество пересчитывалось в $\text{мг} \cdot 10^{-2}$ г сырого веса, и его непосредственно нельзя сравнить с данными по цистозере и микроперифитону, полученными из сухой навески, однако по его количеству можно судить о наличии пленочной формы нефтяного загрязнения.

Как видно из табл. 1, количество ХЭВ в б. Круглой превышало таковое в парке Победы во все сезоны. Однако весной этот показатель в парке Победы был выше из-за единичного аномально большого значения $10.24 \text{ мг} \cdot 10^{-2}$ г сырого веса в марте. Это, по-видимому, связано с локальным попаданием загрязнителя на макрофиты. Подобная картина наблюдалась и с количеством общих липидов. Среднегодовое количество ХЭВ в поверхностном загрязнении б. Круглой составляло $2.41 \pm 0.28 \text{ мг} \cdot 10^{-2}$ г, а в парке Победы — 2.03 ± 0.7 ; общих липидов — 0.63 ± 0.2 и $0.36 \pm 0.03 \text{ мг} \cdot 10^{-2}$ г соответственно. Количество нефтяных углеводородов также было выше в б. Круглой за весь период наблюдений, кроме мартовского выброса, за счёт которого среднегодовое количество НУ в парке Победы оказалось выше — 0.37 ± 0.26 против $0.22 \pm 0.06 \text{ мг} \cdot 10^{-2}$ г.

Таблица 2. Среднесезонная концентрация ХЭВ, общих липидов и нефтяных углеводородов ($\text{мг} \cdot 10^{-2}$ мг сухого веса) в цистозире и микроперифитоне штормовых выбросов

Table 2. Average seasonal concentrations of chloroform-extracted substances, total lipids and oil hydrocarbons ($\text{mg} \cdot 10^{-2}$ mg of dry weight) in *Cystoseira* and microperiphyton of storm casts

	Цистозира		Микроперифитон	
	б. Круглая	парк Победы	б. Круглая	парк Победы
Зима				
ХЭВ	2.38±0.13	2.52±0.11	3.34±1.01	1.48±0.84
Общие липиды	0.99±0.07	0.85±0.15	0.94±0.51	0.53±0.39
НУ	0.12±0.01	0.15±0.02	0.38±0.13	0.15±0.09
Весна				
ХЭВ	3.23±0.09	1.36±0.12	3.50±0.33	2.19±1.06
Общие липиды	1.58±0.66	0.62±0.19	1.01±0.29	0.43±0.23
НУ	0.09±0.02	0.12±0.02	0.23±0.04	0.46±0.38
Лето				
ХЭВ	2.10±0.01	1.48±0.51	3.52±0.01	1.57±0.43
Общие липиды	1.10±0.01	0.76±0.16	1.71±0.01	0.61±0.15
НУ	0.14±0.01	0.06±0.03	0.19±0.01	0.17±0.03
Осень				
ХЭВ	3.64±0.76	1.70±0.36	2.22±0.12	1.04±0.15
Общие липиды	1.38±0.06	0.58±0.06	0.61±0.01	0.22±0.07
НУ	0.21±0.03	0.10±0.03	0.22±0.01	0.22±0.05

Количество ХЭВ в цистозире штормовых выбросов также достоверно было больше в б. Круглой. Среднегодовое значение содержания ХЭВ в б. Круглой — $2.84 \pm 0.36 \text{ мг} \cdot 10^{-2} \text{ мг}$, а в парке Победы — 1.76 ± 0.26 (табл. 2).

Количество общих липидов имело ту же закономерность: 1.26 ± 0.13 и $0.69 \pm 0.06 \text{ мг} \cdot 10^{-2} \text{ мг}$ соответственно, то есть было практически вдвое выше в б. Круглой. Интересно отметить, что концентрации НУ зимой и весной были выше в парке Победы, а летом и осенью — в б. Круглой. Это, возможно, связано с увеличивающейся в летне-осеннее время антропогенной нагрузкой на акваторию б. Круглой, в частности с наличием большого количества источников хозяйственно-бытовых стоков по периметру бухты.

Исходя из данных табл. 2, можно сказать, что количество ХЭВ, общих липидов и нефтяных углеводородов в микроперифитоне с цистозире штормовых выбросов также было выше в б. Круглой. При этом максимальное значение количества ХЭВ было отмечено летом ($3.52 \pm 0.01 \text{ мг} \cdot 10^{-2} \text{ мг}$). Среднегодовое количество ХЭВ в б. Круглой составило 3.15 ± 0.31 , в парке Победы — $1.57 \pm 0.24 \text{ мг} \cdot 10^{-2} \text{ мг}$, общих липидов — 1.07 ± 0.23 и $0.45 \pm 0.08 \text{ мг} \cdot 10^{-2} \text{ мг}$, нефтяных углеводородов — 0.26 ± 0.04 и $0.25 \pm 0.07 \text{ мг} \cdot 10^{-2} \text{ мг}$ соответственно. То есть количество ХЭВ и общих липидов в б. Круглой было практически в 2 раза выше, чем в парке Победы, а нефтяных углеводородов — почти одинаковым.

Выводы. 1. Впервые получены данные о количестве ХЭВ, общих липидов и НУ в береговых выбросах цистозире в прибрежной зоне Севастополя, которые в среднем составили: для ХЭВ $2.84 \pm 0.36 \text{ мг} \cdot 10^{-2} \text{ мг}$ в б. Круглой и 1.76 ± 0.26 в парке Победы, для общих липидов — 1.26 ± 0.13 и $0.69 \pm 0.06 \text{ мг} \cdot 10^{-2} \text{ мг}$, для НУ — 0.14 ± 0.02 и $0.11 \pm 0.02 \text{ мг} \cdot 10^{-2} \text{ мг}$ соответственно. **2.** Полученные данные свидетельствуют о более высоких уровнях содержания хлороформ-экстрагируемых веществ, об-

щих липидов и нефтяных углеводородов в макрофитах в б. Круглой по сравнению с таковыми в акватории парка Победы. **3.** Береговые выбросы цистозирры могут быть источником вторичного загрязнения нефтяными углеводородами прибрежных акваторий.

Работа выполнена в рамках госзадания ФГБУН ИМБИ по теме «Создание методов и технологий оперативного контроля экологического состояния биоты, оценки и прогноза качества морской среды» (гос. рег. № 1001-2014-0016).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Блинова Е. И., Сабурин М. Ю. Штормовые выбросы макрофитов. Условия формирования и влияние на экологическое состояние моря (на примере Анапской бухты, Чёрное море) // *Труды ВНИРО*. 2005. Т. 144. С. 286–293. [Blinova E. I., Saburin M. Yu. Shtormovye vybrosy makrofitov. Usloviya formirovaniya i vliyanie na ekologicheskoe sostoyanie morya (na primere Anapskoi bukhty, Chernoe more). *Trudy VNIRO*, 2005, vol. 144, pp. 286–293. (in Russ.)].
2. Жильцова Л. В. Штормовые выбросы макрофитов в Приморье: источник загрязнения моря или полезное сырьё? // *Вестник Морского государственного университета. Серия: Теория и практика защиты моря*. Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2011. Вып. 48/2011. С. 7–12. [Zhiltsova L. V. Shtormovye vybrosy makrofitov v Primor'e: istochnik zargyazneniya morya ili poleznoe syr'e. *Vestnik Morskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Teoriya i praktika zashchity morya*. Vladivostok: Mor. gos. un-t, 2011, iss. 48/2011, pp. 7–12. (in Russ.)].
3. Калугина-Гутник А. А. *Фитобентос Чёрного моря*. Киев: Наукова думка, 1975. 247 с. [Kalugina-Gutnik A. A. *Fitobentos Chernogo morya*. Kiev: Naukova dumka, 1975, 247 p. (in Russ.)].
4. Леоненко И. И., Антонович В. П., Андрианов А. М., Безлущкая И. В., Цымбалюк К. К. Методы определения нефтепродуктов в водах и других объектах окружающей среды (обзор) // *Методы и объекты химического анализа*. 2010. Т. 5, № 2. С. 58–72. [Leonenko I. I., Antonovich V. P., Andrianov A. M., Bezlutskaia I. V., Tsymbalyuk K. K. Metody opredeleniya nefteproduktov v vodakh i drugikh ob'ektakh okruzhayushei sredy (obzor). *Metody i ob'ekty khimicheskogo analiza*, 2010, vol. 5, no. 2, pp. 58–72. (in Russ.)].
5. Миронов О. А. *Нефтяные углеводороды в массовых организмах зарослевых сообществ прибрежной зоны Севастополя (Чёрное море)* : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.10. Севастополь, 2014. 24 с. [Mironov O. A. *Neftyanye uglevodorody v massovykh organizmakh zaroslevykh soobshchestv pribrezhnoi zony Sevastopolya (Chernoe more)* : avtoref. dis. ... kand. biol. nauk : 03.02.10. Sevastopol, 2014, 24 p. (in Russ.)].
6. Миронов О. Г. Техногенное воздействие нефтяных углеводородов на прибрежную зону моря // *Вестник СевНТУ*. 2005. Вып. 39. С. 132–137. [Mironov O. G. Tekhnogennoe vozdeistvie neftyanykh uglevodorodov na pribrezhnyuyu zonu morya. *Vestnik SevNTU*, 2005, iss. 39, pp. 132–137. (in Russ.)].
7. *Санитарно-биологические исследования в прибрежной акватории региона Севастополя* / ред. О. Г. Миронов; ИнБЮМ НАН Украины. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. 192 с. [Sanitarно-biologicheskie issledovaniya v pribrezhnoi akvatorii regiona Sevastopolya / red. O. G. Mironov; InBYuM NAN Ukrainy. Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika, 2009, 192 p. (in Russ.)].
8. Смирнов Г. Н. *Океанология*. Москва: Высшая школа, 1987. 407 с. [Smirnov G. N. *Okeanologiya*. Moscow: Vysshaya shkola, 1987, 407 p. (in Russ.)].
9. Тихонова Е. А. Многолетняя динамика загрязнения органическими веществами донных осадков бухты Круглая (Севастополь, Чёрное море) // *Морской биологический журнал*. 2016. Т. 1, № 1. С. 70–75. [Tikhonova E. A. Mnogoletnyaya dinamika zagryazneniya organicheskimi veshchestvami donnykh osadkov bukhty Kruglaya (Sevastopol, Chernoe more). *Morskoy biologicheskij zhurnal*, 2016, vol. 1, no. 1, pp. 70–75. (in Russ.)].

**OIL HYDROCARBONS AND TOTAL LIPIDS
IN THE COASTAL CASTS OF *CYTOSEIRA BARBATA* (STACKH.) C. AGARDH
IN THE LITTORAL ZONE OF SEVASTOPOL (BLACK SEA)**

O. A. Mironov, I. P. Muraviova

Kovalevsky Institute of Marine Biological Research RAS, Sevastopol, Russian Federation

E-mail: mironov87@gmail.com

The coastal zone of Sevastopol, especially the recreational part, feels great anthropogenic impact due to hosting a large number of tourists, but also because of the urban and stormwater discharge, containing oil hydrocarbons in its composition. Brown algae *Cystoseira barbata* forms vast underwater thickets here. Cut off from the substrate algae are at the edge of the water, mixed with coastal casts, resulting in secondary pollution of both coastline and coastal waters. At the same time freshly detached plants are used by representatives of different taxonomic groups and are actively involved in the food chain. In this context, the aim of this work is to study the lipid-hydrocarbon composition of *Cystoseira* from the coastal storm casts. The amount of oil hydrocarbons was determined by gravimetric method and the amount of lipids by color reaction with phospho-vanillin reagent. The results obtained indicate higher levels of chloroform-extracted substances, total lipids and oil hydrocarbons in macrophytes of Kruglaya Bay in comparison with the levels in water area of Park Pobedy. Onshore casts of *Cystoseira* may be the source of secondary pollution of the coastal waters by oil hydrocarbons.

Keywords: *Cystoseira*, oil hydrocarbons, total lipids, secondary pollution