



Т. О. Гапонюк, м. н. с.

Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского Национальной академии наук Украины,
Севастополь, Украина

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ПЕРИФИТОНЕ СИСТЕМЫ ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ МОРСКОЙ ВОДЫ

Впервые получены данные об органическом веществе в перифитоне системы гидробиологической очистки морской воды. Установлено, что количество белка находилось в пределах 0.5 – 2.5 мг/100 мг, аминокислот 0.01 – 0.9 мг/100 мг, углеводов 2.0 – 7.0 мг/100 мг, липидов 1.6 – 7.1 мг/100 мг, нуклеиновых соединений (свободные нуклеотиды, РНК, ДНК) 0.7 – 2.3 мг/100 мг, углеводородов 2.8 – 4.2 мг/100 мг. Количество нефтяных углеводородов в среднем составляло 1.6 мг/100 мг. Отмечено преобладание количества липидно-углеводородного комплекса над остальными компонентами химического состава перифитона за период с января по август 2005 г. и выявлена корреляция между содержанием углеводов и нефтяных углеводородов, с одной стороны, и количеством липидов, с другой (средний коэффициент корреляции 0.74).

Ключевые слова: перифитон, органическое вещество, система гидробиологической очистки, Черное море

Одним из путей повышения способности морских акваторий к самоочищению является создание гидробиологических систем очистки морских вод (далее «система») [10]. Система состоит из сообщества обрастаний, основу которого составляют мидии. Являясь первым звеном в очистке, они создают поверхность, где происходит развитие организмов перифитона. В бактериальном сообществе перифитона происходит основная трансформация загрязняющих веществ, поставляемых в концентрированном виде мидиями (фекалии и псевдофекалии), а также непосредственно взвешенными веществами из морской воды. Оценить этот процесс можно, изучая химический состав перифитона, данные о котором практически не освещены в литературе. В [6] имеются лишь сведения, что сумма органического вещества (ОВ) в 30-суточных соскобах со стеклянных пластин составляла 20 – 60 % по отношению к массе перифитона.

© Т. О. Гапонюк, 2006

Целью наших исследований было изучение химического состава органического вещества (белков, углеводов, свободных нуклеотидов, РНК, ДНК, аминокислот, липидов, углеводородов, нефтяных углеводородов) в перифитоне системы гидробиологической очистки, расположенной в нефтегавани, находящейся в глубине Севастопольской бухты (Черное море). Здесь в 1991 г. на сваях нефтяного пирса (В) была смонтирована первая очередь гидробиологической системы, а в 1993 г. – вторая, сконструированная на основе секций сетевого загрязнения, применяемого в военно-морском флоте (А).

Таким образом, к началу наших исследований (2005 г.) на носителях указанных систем сформировалось многолетнее сообщество обрастаний, в целом характерное для Севастопольской бухты.

Материал и методы. Пробы обрастаний отбирались с обеих систем (А и В) ежеме-

сячно с января по август 2005 г. Всего отобрано 25 проб. Перифитон соскабливался с мидий, растущих на элементах сетей и свай под пирсом. При этом из соскоба удалялись крупные организмы – мшанки, асцидии, водоросли-макрофиты и т.д. Пробы высушивались при температуре 50°C и измельчались в ступке. Дальнейший анализ биохимического состава перифитона проводился по общепринятой методике для донных осадков, усовершенствованной в отделе морской санитарной гидробиологии ИнБЮМ НАН Украины [9]. Белок определяли по методу Лоури [1], аминокислоты – по цветной реакции с нингидрином и пиридином [13], углеводы – по цветной реакции с L-триптофаном [3]. Липидно-углеводородный комплекс экстрагировали смесью хлороформ-этанол (2:1) с последующим его фракционированием модифицированным методом тонкослойной хроматографии на пластинах «силуфолл» и дальнейшей денситометрией [8]. Нефтяные углеводороды определяли в инфракрасном спектре (длина волн 2700 – 3100^{см}) на Specord IR 75 [12]. Нуклеиновые соединения (свободные нуклеотиды РНК, ДНК) определяли спектрофотометрическим методом [2] на Specord UV VIS. Статистическая обработка данных проводилась по [7].

Для оценки химического состава первичных обрастаний в акватории нефтегавани в феврале 2005 г. рядом с системой гидробиологической очистки 2-ой очереди на глубину 1 м поместили изготовленные из цемента кубики (С) с размером граней 4 см в количестве 12 штук и обломки прибрежных скал известнякового происхождения (D) примерно тех же размеров. Ежемесячно проводился анализ перифитона с одного кубика и с одного обломка скал.

Результаты и обсуждение. При просмотре под микроскопом соскоба с мидий, собранных с сетей и свай, а также с кубика и камня было установлено, что его основную массу составляли микроводоросли и частицы детрита. Процентное содержание органическо-

го вещества в соскобах с мидий из многолетнего сообщества обрастаний было равно в среднем для А – 16.4 %, для В – 15.5 % по отношению к сухой массе перифитона. Таким образом, сумма органических веществ в перифитоне, сформировавшемся на многолетних обрастаниях, была практически одинакова как на бетонных сваях пирса, так и стальных конструкциях сетевого ограждения. Близка к ним величина органических веществ на вновь формирующемся перифитоне естественного субстрата – обломках скал (16 %). На цементном кубике этот показатель составил 25 %, т.е. почти в полтора раза больше. Это согласуется с данными [6] о том, что на искусственном субстрате обрастание идет более интенсивно. В [4] отмечено, что пики ОВ наблюдались в летние месяцы. По нашим наблюдениям, максимальное количество ОВ в перифитоне отмечено в августе – 35 мг/100 мг сухого вещества.

Содержание белково-нуклеинового комплекса (белок, аминокислоты, свободные нуклеотиды, РНК, ДНК) в пробах представлено в табл. 1. Как видно из табл. 1, максимальное количество белка на цементном кубике и на обломках скал отмечено в июне (1.4 и 1.9 мг/100 мг соответственно), на сваях – в январе (1.6 мг/100 мг), на сети (2.5 мг/100 мг) – в апреле. По [4], максимальные величины содержания белка (16 – 18 мг/100 мг сухой массы) в перифитоне со стеклянных пластин установлены в мае – июне, минимальные (7 мг) – зимой, т.е. в перифитоне нефтегавани количество белка было примерно в 10 раз меньшим, чем на стеклянных пластинах. Заметим, что экспонирование стеклянных пластин проводилось в центральной части Севастопольской бухты.

Среднее содержание аминокислот не выходило за пределы 0.2 – 0.3 мг/100 мг. Минимальное значение этих соединений отмечено в С в августе – (0.01 мг/100 мг), а их резкое увеличение – в феврале в В (0.9 мг/100 мг) и в D в марте (1.3 мг/100 мг).

Табл. 1 Содержание белково-нуклеинового комплекса: белок (Б), аминокислоты (А/к), нуклеиновые соединения (Н/с), мг/100 мг

Table 1 Protein (Б), amino acids (А/к), and nucleic complex (Н/с) contents, mg/ 100 mg

Показатель	Месяцы									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Среднее	
А	Б	2.5±0.13	1.1±0.15	1.2±0.15	1.4±0.09	1.2±0.11	1.2±0.13	2.2±0.04	1.2±0.11	1.6±0.18
	А/к	0.2±0.02	0.9±0.02	0.2±0.01	0.2±0.02	0.2±0.01	0.3±0.03	0.1±0.02	0.2±0.03	0.3±0.08
	Н/с	2.3±0.25	1.7±0.14	2.1±0.05	1.6±0.14	1.4±0.17	0.8±0.15	1.8±0.16	1.0±0.36	1.6±0.16
	Σ	5.0	3.2	3.5	3.2	2.8	2.3	4.1	2.4	3.5±0.3
В	Б	-	0.9±0.05	1.14±0.3	1.6±0.19	0.9±0.08	0.9±0.06	1.4±0.08	1.11±0.1	1.1±0.1
	А/к	-	0.9±0.02	0.1±0.01	0.2±0.02	0.2±0.02	0.1±0.02	0.1±0.02	0.1±0.01	0.2±0.11
	Н/с	-	1.8±0.09	1.6±0.15	1.5±0.14	1.1±0.15	0.7±0.07	1.2±0.1	1.2±0.07	1.3±0.14
	Σ	-	3.6	2.8	3.3	2.2	1.7	2.8	2.4	2.6±0.25
С	Б	-	-	1.25±0.1	1.0±0.04	1.2±0.03	1.9±0.07	-	1.3±0.01	1.3±0.18
	А/к	-	-	1.3±0.05	0.2±0.04	0.3±0.04	0.2±0.03	-	0.01±0.001	0.4±0.23
	Н/с	-	-	1.7±0.18	1.2±0.08	1.7±0.1	1.4±0.17	-	1.6±0.15	1.5±0.1
	Σ	-	-	4.2	2.4	3.2	3.6	-	2.9	3.2±0.3
D	Б	-	-	-	0.6±0.04	0.8±0.07	1.4±0.05	1.2±0.09	0.5±0.03	0.9±0.16
	А/к	-	-	-	0.1±0.01	0.1±0.02	0.2±0.02	0.1±0.01	0.03±0.01	0.1±0.05
	Н/с	-	-	-	1.1±0.07	1.2±0.07	1.3±0.11	1.2±0.09	1.1±0.07	1.2±0.04
	Σ	-	-	-	1.8	2.1	2.9	2.5	1.6	2.2±0.23

«-» - не определялись

Количество белково-нуклеинового комплекса (БНК) в многолетних обрастаниях сети в среднем составляло 3.5 мг/100 мг, в перифитоне со свай – 2.6 мг/100 мг, уменьшаясь от зимы к лету. Для С и D эта величина составляла соответственно 3.2 и 2.2 мг/100 мг сухого веса и была примерно одинакова и весной и летом. В процентном отношении количество БНК было в пределах 20 % от суммы органи-

ческого вещества, составляя в среднем для А – 23.3 %, В – 20.1 %, С – 13.8 %, D – 17.1 %.

На рис. 1 представлено содержание углеводов. Общее количество углеводов в перифитоне сетей и свай находилось в пределах 2.0 – 7.0 мг/100 мг. По [4], сумма углеводов в перифитоне колебалась от 14 до 3 мг/100 г сухой массы, т.е. несколько выше, чем в наших исследованиях.

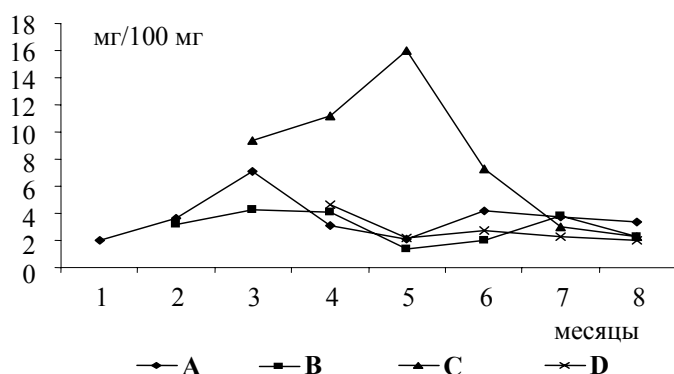


Рис. 1. Содержание углеводов в пробах перифитона, мг/100 мг (А, В, С, D – см. в тексте)
Fig. 1. Carbohydrates contents in periphyton samples, mg/100 mg (A, B, C, D – see in text)

Как видно из рис. 1, в обрастаниях с сети наблюдается отчетливый пик содержания углеводов в марте и несколько меньший в июне; та же тенденция отмечалась и на сваях. На

цементном кубике, помещенном в море в феврале, динамика и количество углеводов были примерно одинаковы с приведенными выше данными. В то же время на обломках скал за-

фиксировано резкое увеличение количества углеводов, которое достигало своего максимума в мае, значительно превышая содержание углеводов на других субстратах. Далее произошло уменьшение количества углеводов, которое через 3 месяца сравнялось с величинами для А, В и D. Средние значения доли углеводов в общем количестве ОВ составляли

для А – 24 %, В – 22 %, С – 39 %, D – 21 %. Интересно отметить, что в пробах преобладали кислото- и щелочерастворимые углеводы, т.е. углеводы, участвующие в образовании клеточных структур и выполняющих защитную функцию [5].

Содержание липидов в перифитоне представлено на рис. 2 а.

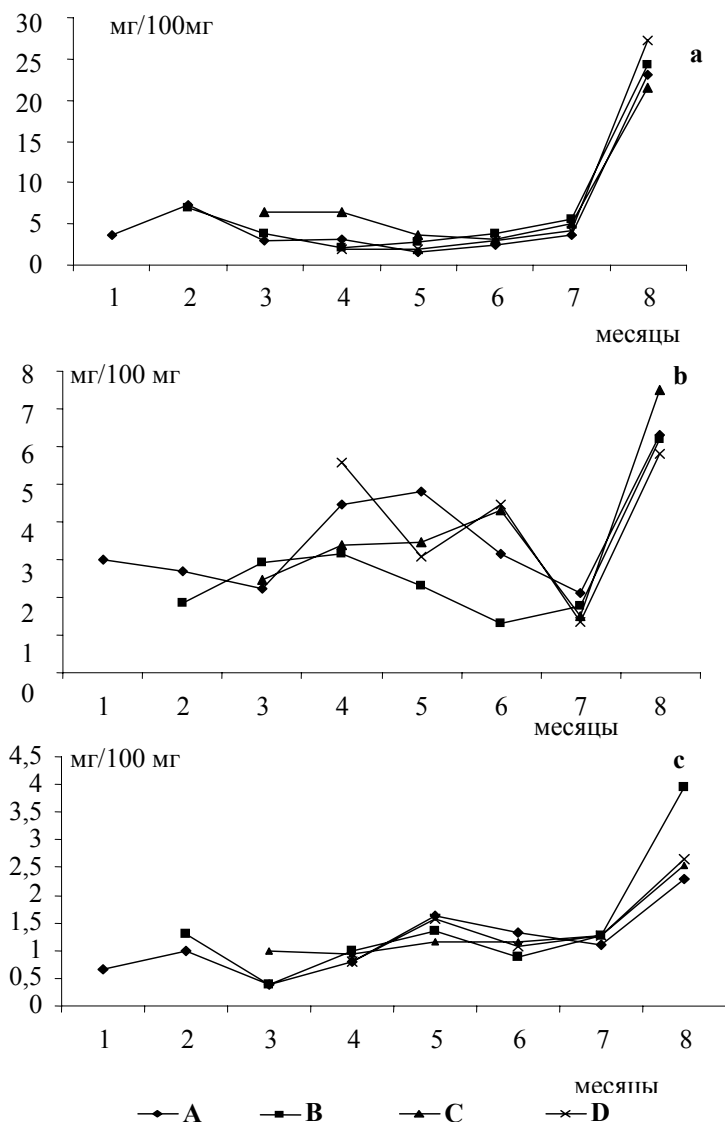


Рис. 2. Общее содержание (мг/100 мг) липидов (а), углеводов (б) и нефтяных углеводов (с)

Fig. 2. Lipids (a), hydrocarbons (b) and oil hydrocarbons (c) total content, mg/100 mg

На рис. видно, что количество липидов было близким на всех субстратах и с января по июль находилось в пределах 1.6 – 7.1 мг/100 мг. В августе отмечен резкий скачок в количестве липидов до 23.0 – 24.3 - 21.5 – 27.2 мг/100 мг (для А, В, С и D соответственно), причем во всех пробах. Установлено преобладание липидов над остальными составляющими органического вещества. Возможно, это связано с развитием диатомовых водорослей, содержащих значительное количество жира [11].

На рис. 2 б и 2 с представлено общее содержание углеводов и нефтяных углеводов в пробах перифитона. Среднее значение количества углеводов составляло для сети – 3.6, свай – 2.8, цементного кубика – 4.2, обломков скал – 4.1 мг/100мг. Их максимальное количество, как и липидов, отмечено в августе.

С – 40 %, D – 52 %. Выявлена корреляция между содержанием углеводов и нефтяных углеводов с одной стороны и количеством липидов с другой. Коэффициент корреляции составил для А 0.67, В – 0.86, С – 0.92, D – 0.51.

Количество нефтяных углеводов за весь период наблюдений не превышало в среднем 1.6 мг/100г и только в августе доходило до 2.8 мг/100 мг. В процентном отношении доля нефтяных углеводов в общем количестве углеводов составляла: А – 37 %, В – 61 %, С – 40 %, D – 52 %.

Выводы. Впервые получены данные о количественном содержании органического вещества в перифитоне системы гидробиологической очистки морской воды. Содержание белка было в пределах 8 % от общего количества органического вещества, аминокислот – 1.6 %, нуклеиновых соединений – 5 %, углеводов – 26 %, липидов – 33 %, углеводов –

22 %. Отмечено преобладание количества липидно-углеводородного комплекса над остальными компонентами химического состава перифитона за период наблюдений с января по август 2005 г. и выявлена корреляция между содержанием углеводов и нефтяных углеводов, с одной стороны, и количеством липидов, с другой.

1. *Агатова А. И., Андреева Н. М.* Определение белка во взвеси и донных осадках / Методы исследования органического вещества в океане – М.: Наука, 1980. – С. 93 – 97.
2. *Агатова А. И., Андреева Н. М., Полуяктов В. Ф.* Спектрофотометрический метод определения нуклеиновых кислот в морской воде, взвеси и осадках / Методы исследования органического вещества в океане – М.: Наука, 1980. – С. 97 – 100.
3. *Агатова А. И., Полуяктов В. Ф.* Определение суммы углеводов в морской воде, взвеси и осадках с L-триптофаном / Методы исследования органического вещества в океане – М.: Наука, 1980. – С. 115 – 121.
4. *Бобкова А. Н.* Сезонные изменения структуры и биохимического состава микроперифитона // Гидробиол. журн. – 1990. – 26, № 2. – С. 33 - 37.
5. *Бобкова А. Н., Губасарян Л. А.* Хиноидные соединения в противоположающихся покрытиях как компонент загрязнения моря // Морская санитарная гидробиология (под ред. О. Г. Миронова) – Севастополь, 1995. – С. 92 – 100.
6. *Горбенко Ю. А.* Экология морских микроорганизмов перифитона. – К.: Наук. думка, 1977. – 250 с.
7. *Громыко Г. Л.* Статистика. – М.: МГУ, 1981. – 328 с.
8. *Копытов Ю. П.* Новый вариант тонкослойной хроматографии липидов и углеводов // Экология моря. – 1983. – Вып. 13. – С. 76 – 80.
9. *Копытов Ю. П., Дивавин И. А., Цымбал И. М.* Схема комплексного биохимического анализа гидробионтов / Рациональное использование ресурсов моря – важный вклад в реализацию продовольственной программы: Материалы конференции (Севастополь, 10 – 11 декабря 1984 г.). – Севастополь, 1984. – ч. 2. – С. 227 – 231.
10. *Миронов О. Г.* Проблема самоочищения и гидробиологический метод борьбы с загрязнением морской среды / Биологическое самоочищение и формирование качества воды - М.: Наука, 1975. – С. 19 – 22.
11. *Прошкина-Лавренко А. И.* Диатомовые водоросли планктона Черного моря. – М.-Л.: АН СССР, 1955. – 222 с.
12. *Руководство по методам химического анализа морских вод (под ред. С. Г. Орадовского).* – Л.: Гидрометеониздат, 1977. – С. 118 – 130.
13. *Филиппович Ю. Б., Егорова Т. А., Севастьянова Г. А.* Практикум по общей химии. – М.: Просвещение, 1975. – 318 с.

Поступила 21 ноября 2005 г.

Хімічний склад органічних речовин в перифітоні системи гідробіологічного очищення морської води.

Т. О. Гапонюк. Уперше отримані дані об органічній речовині та його компонентах в перифітоні системи гідробіологічного очищення морської води. Встановлено, що кількість білків знаходилась у мережах 0.5 – 2.5 мг/100 мг, амінокислот 0.01 – 0.9 мг/100 мг, вуглеводів 2.0 – 7.0 мг/100 мг, ліпідів 1.6 – 7.1 мг/100 мг, нуклеїнових з'єднань (вільні нуклеотиди, РНК, ДНК) 0.7 – 2.3 мг/100 мг, вуглеводів 2.8 – 4.2 мг/100 мг. Кількість нафтових вуглеводів у середньому складала 1.6 мг/100 мг. Відзначена перевага кількості ліпідно-вуглеводійного комплексу над іншими компонентами хімічного складу перифітону за час огляду з січня до серпня 2005 р. та виявлено кореляція між змістом вуглеводів та нафтових вуглеводів, з одного боку, та кількістю ліпідів, з іншого (коефіцієнт кореляції 0.74).

Ключові слова: перифітон, органічна речовина, система гідробіологічного очищення, Чорне море

Chemical composition of organic matter in periphyton of the of hydrobiological sea water purification system.

T. O. Gaponyuk. The data about organic matter and its components in periphyton of the of hydrobiological water purification system were received for the first time. It is determined that the amount of protein was between 0.5 - 2.5 mg/100 mg, amino acids 0.01 – 0.9 mg/100 mg, carbohydrates 2.0 – 7.0 mg/100 mg,

lipids 1.6 – 7.1 mg/100 mg, nucleic compounds (free nucleotides, RNA, DNA) 0.7 – 2.3 mg/100 mg, hydrocarbons 2.8 – 4.2 mg/100 mg. The average amount of oil hydrocarbons was 1.6 mg/100 mg. The domination of the lipid-hydrocarbons complex over other components of periphyton chemical composition during the time of the observation from January till August 2005 is marked and correlation between the compound of hydrocarbons and oil hydrocarbons from one hand and the amount of lipids from the other hand is revealed (correlation coefficient 0.74).

Key words: periphyton, organic matter, system of water hydrobiological purification, Black Sea

ЗАМЕТКА

***Oithona brevicornis* Giesbrecht в Севастопольской бухте в октябре 2005 – марте 2006 гг. [*Oithona brevicornis* Giesbrecht у Севастопольській бухті в жовтні 2005 – березні 2006 р.; *Oithona brevicornis* Giesbrecht in the Sevastopol Bay in October, 2005 – March, 2006].** *Oithona brevicornis* Giesbrecht, 1891 (Copepoda, Cyclopoida) распространена в прибрежных водах Тихого, Индийского и Атлантического океанов, как в тропических, так и в умеренных водах. Широкому распространению этого вида способствует его высокая устойчивость к изменениям солености (Шувалов, 1980). В Черном море *O. brevicornis* была впервые отмечена в Севастопольской бухте в декабре 2001 г. (Загородняя, 2002). В последующие четыре года её здесь никто не отмечал. Представленные нами результаты основаны на регулярных наблюдениях зоопланктона в Севастопольской бухте в период с 2002 по 2006 гг. Пробы зоопланктона отбирали, как правило, дважды в месяц сетью Джеди (диаметр входного отверстия 0.1 м, ячея газа – 150 мкм) на двух станциях: станция 2 – у выхода из бухты; станция 3 – в глубине бухты, близ Сухарной балки. В октябре 2005 г. на станциях 2 и 3 было найдено по одному экземпляру половозрелых самок *O. brevicornis*, а менее чем через месяц, в начале ноября, на станции 3 численность копепод превышала 1000 экз./м³ (табл. 1). Максимальная концентрация зарегистрирована 28 ноября (ст. 2) и 28 декабря (ст. 3). Более резкие колебания численности наблюдались на ст. 3.

Табл. 1. Динамика численности (экз./м³) *Oithona brevicornis* в Севастопольской бухте
Table 1. Dynamics of abundance (ind./m³) of *Oithona brevicornis* in the Sevastopol Bay

Год	2005					2006				
Дата	11.10	09.11	28.11	14.12	28.12	11.01	01.02	13.02	01.03	14.03
Ст. 2	1	69	264	69	8	10	36	13	9	6
Ст. 3	1	1089	785	327	2311	421	62	147	620	14

Приведенные в табл. 1 данные наглядно иллюстрируют тот факт, что в глубине бухты численность *O. brevicornis* на протяжении всего периода исследований была существенно выше. В среднем она составляла 49 экз./м³ на станции 2 и 578 экз./м³ на станции 3. До середины января 2006 г. популяция *O. brevicornis* была представлена особями на всех стадиях развития, обычно с преобладанием самок. Размеры половозрелых самок варьировали от 0.51 до 0.62 мм, самцов – от 0.47 до 0.54 мм. Доля самцов была сравнительно высокой (от 9 до 61 %). В феврале – марте 2006 г. самцы в пробах не обнаружены. Дальнейшие наблюдения позволяют судить о сезонной динамике этого вида в Черном море, его пространственном и вертикальном распределении, структуре популяции. Д. А. Алтухов, А. Д. Губанова (Институт биологии южных морей НАН Украины, Севастополь, Украина).