

ВИДОВОЙ СОСТАВ И СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИАТОМОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ БЕНТОСА ПРИБРЕЖНОЙ ЧАСТИ КАЗАНТИПСКОГО ЗАПОВЕДНИКА (АЗОВСКОЕ МОРЬЕ)

A.В. Бондаренко, Л.И. Рябушко

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского НАН Украины
г. Севастополь, пр. Нахимова, 2
E-mail: larisa.ryabushko@yandex.ru

*Впервые изучена сезонная динамика количества видов, численности и биомассы диатомовых водорослей акватории Казантипского заповедника в эпифитоне, эпилитоне и песках. Обнаружено 70 таксонов *Vaccillariophyta* (3 класса, 14 порядков, 19 семейств, 29 родов). В эпифитоне макроводорослей найдено 62 вида диатомовых, эпилитоне – 31 и песках – 21. Максимальные величины численности и биомассы диатомовых эпифитона и эпилитона отмечены в сентябре 2006 г.*

Введение. Донные макроводоросли акватории мыса Казантип длительное время оставались не изученными. Основное внимание уделялось исследованиям макрофитобентоса и синезеленых макроводорослей [1]. С момента создания на территории мыса государственного заповедника 12 мая 1998 г. начаты системные наблюдения за разнообразными природными сообществами, однако изучение донных макроводорослей все еще находится на начальном этапе и сводится к определению видового состава и экологии водорослей отдела *Cyano- and Rhizocystophytina* заповедной акватории и прилегающих участков [1, 2].

С 2005 г. начаты исследования и инвентаризация микрофитобентоса Азовского моря и его сопредельных акваторий [3 – 5]. В связи с тем, что диатомовые водоросли часто являются преобладающей группой в водоемах разного типа, в том числе и в Азовском море, а также относятся к индикаторам состояния природной среды, они представляют собой важный объект экологического мониторинга и поэтому

их изучение весьма необходимо проводить в акватории Казантипского заповедника.

Целью данной работы является определение видового состава диатомовых водорослей прибрежной акватории Казантипского природного заповедника и сопредельных акваторий Азовского моря, выявление закономерностей распределения на разных типах субстратов, а также исследование сезонной динамики количественных характеристик (численности и биомассы) их донных сообществ.

В настоящее время решается вопрос о расширении границ Казантипского природного заповедника и охраняемой акватории, поэтому пробы макроводорослей отбирали как в заповедных бухтах, так и в прилегающих участках моря (рис. 1).

Материалом для настоящей работы послужил сбор 43 проб микрофитобентоса, отобранных на глубине до 1 м в течение весны, лета и осени 2005, 2006, 2008 и 2010 гг. на рыхлых и каменистых грунтах, а также в эпифитоне водорослей-макрофитов (красные, бурые и зеленые).

В период исследования в местах отбора проб измеряли температуру воды в море, которая варьировала от 9 °C в ноябре до 26 °C в августе (табл. 1), а соленость составляла 11,5 ‰.

Смывы диатомовых водорослей с соответствующего типа субстрата фиксировали 70 % этиловым спиртом. Микроскопирование водорослей осуществляли в световом микроскопе БИОЛАМ-С11 при увеличениях 15 × 40 и 15 × 90.

Для анализа их качественного состава использовали классификационную систему, разработанную Раундом с соавторами [6].

Количественный учет клеток диатомовых водорослей с разных субстратов производили в камере Горяева (объем 0, 0009 мл) в трех повторностях по методикам, описанным ранее [7 – 9].

При оценке количественных показателей численности и биомассы диатомовых водорослей в каждой пробе определяли площадь поверхности (S , cm^2)



Р и с. 1. Карта отбора проб микрофитобентоса в акватории Казантипского заповедника

Т а б л и ц а 1

Температура (t , $^{\circ}\text{C}$) воды в Казантипском заповеднике Азовского моря

Дата	12.11.05	09.04.06	21.05.06	15.07.06	19.08.06	24.09.06	04.11.06	28.05.08	07.05.10
$t, ^{\circ}\text{C}$ в море	9,0	10,0	18,0	22,0	26,0	19,0	12,0	20,0	12,0

субстрата. Площадь поверхности камней вычисляли по формуле Грахама и др., 1988 [10]:

$$S = \pi/3(xy + yz + xz),$$

где x , y и z – линейные размеры камня. Площадь поверхности водорослей-макрофитов вычисляли, исходя из формулы аллометрической зависимости, предложенной Г.Г. Миничевой (1989) [11]:

$$S/W = 3334/d^{0,916},$$

где S/W – площадь удельной поверхности макрофита, W – сырья масса макрофита, d – диаметр слоевища.

Среднюю численность клеток (N , кл/ см^2) для каждого вида диатомовых водорослей рассчитывали по формулам, предложенным В.И. Рябушко [9]:

$$N = 1110 h * V * n / S,$$

где V – объем пробы, мл, n – число клеток в камере Горяева, S – площадь поверхности камня, см^2 .

Среднюю биомассу (B , $\text{мг}/\text{см}^2$) определяли по формуле:

$$B = 1110 h * V * b / S,$$

где b – сумма биообъемов клеток в μ^3 , умноженная на h – удельный вес микроводорослей, равный для бентосных диатомовых $1,2 \cdot 10^{-9} \text{ мг}/\mu^3$.

Всего в составе прибрежного микрофитобентоса Казантипского заповедника выявлено 78 видов диатомовых, синезеленых и зеленых водорослей с преобладанием по видовому разнообразию и количественным характеристикам, диатомовых. Всего обнаружено 70 видов и внутривидовых таксонов отдела Bacillariophyta, принадлежащих 3 классам, 14 порядкам, 19 семействам и 29 родам. Основой их видового разнообразия является класс Bacillariophyceae, на долю которого приходится 70 % общего количества видов (рис. 2).

Ведущее положение в сообществе занимают 17 видов, принадлежащих родам *Navicula* и *Nitzschia*. В меньшей степени составляют виды класса Fragillariophyceae (24,3 %), однако водоросли родов *Pseudostaurosira*, *Tabularia*, *Thalassionema*, вносят основной

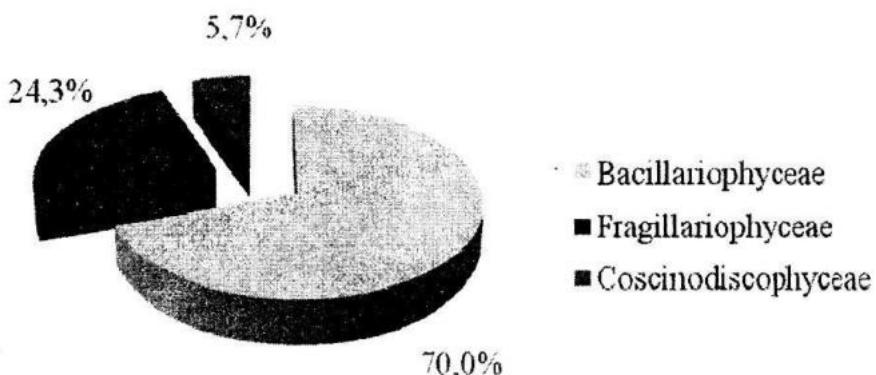


Рис. 2. Процентное соотношение классов отряда Bacillariophyta в прибрежной акватории Казантипского природного заповедника Азовского моря

Таблица 2

Вклад отдельных родов в видовое разнообразие бентосных диатомовых водорослей прибрежной акватории Казантипского заповедника Азовского моря

Род	Количество видов
<i>Navicula</i> Bory de St.-Vincent, 1822	9
<i>Nitzschia</i> Hassall, 1845	8
<i>Pleurosigma</i> W. Smith, 1852	6
<i>Licmophora</i> C.A. Agardh, 1827	5
<i>Amphora</i> Ehrenberg ex Kützing, 1844	4
<i>Cocconeis</i> Ehrenberg, 1837	4
Остальные	менее 4-х видов

Таблица 3

Изменение количества видов донных диатомовых побережья Казантипского заповедника на разных типах субстратов по сезонам года

Тип субстрата	Количество видов			Всего
	весна	лето	осень	
Макрофиты	44	32	34	62
Камни	13	25	26	31
Песок	21	7	7	21
Всего:	55	45	50	70

вклад в численность сообщества донных диатомовых водорослей акватории Казантипского заповедника (рис. 1). К классу Coscinodiscaceae принадлежит всего 5,7 % (4 вида), не достигающих высокой численности ни в одном из сезонов.

В эпифитоне красных, бурых и зеленых водорослей-макрофитов в акватории Казантипского заповедника нами обнаружено 62 вида и внутривидовых таксона диатомовых водорослей (табл.

3). Максимальное количество видов (44) зарегистрировано весной при температуре воды 10 – 20 °C.

По количеству видов и их встречаемости преобладают над одиночноживущими в основном колониальные формы. Наибольшего обилия достигают колонии *Berkeleya rutilans*, иногда видимые невооруженным глазом, густо оплетающие талломы макроводорослей. Другие виды водорослей родов *Licmophora*, *Tabularia*, *Achnanthes* и,

особенно, *Rhoicosphenia*, часто образуют разветвленные и многоярусные колонии, густо обрастающие слоевица водорослей. Летом при температуре воды 22–26 °C отмечено минимальное количество видов (32) диатомовых водорослей, постепенно увеличивающееся осенью при снижении температуры в море до 12 °C (табл. 1, 3).

Исследования видового состава микроводорослей эпилитона показали, что количественно эти субстраты заселяются слабее, чем водоросли-макрофиты, но в большей степени, чем пески, при этом видовое разнообразие диатомовых на указанных субстратах имеет сходный характер: на каменистых грунтах обнаружен 31 вид, в песках – 21 (табл. 3). Однако при температуре воды не выше 12 °C на камнях и песках отмечено увеличение количества видов – 26 и 21, соответственно. Ведущее положение занимают виды родов *Amphora*, *Cocconeis*, *Navicula*. Диатомовые рода *Diplotheis* выявлены только на камнях с примесью рыхлого грунта, а представители рода *Staurophora* обнаружены в основном среди песков.

Каменистые и песчаные грунты на глубине до 1,0 м количественно заселяются микроводорослями слабее, чем водоросли-макрофиты, поскольку сильный прогрев воды в море на малых глубинах негативно влияет на вегетацию многих видов диатомовых, поэтому грунты являются для них менее привлекательными. Так, при прогреве водной массы более 20 °C отдельные представители родов *Navicula*, *Nitzschia*, *Pleurosigma* на грунтах не были отмечены.

Кроме изучения видового состава, нами исследована сезонная динамика численности и биомассы диатомовых водорослей в эпифитоне зеленых водорослей-макрофитов кладофоры и энтероморфы, а также на поверхности камней. На песках же в каждом из сезонов зарегистрирована небольшая численность микроводорослей, не дающая картины сезонной динамики. Вероятно, поверхностный слой крупнозернистого песка, характерного для значительной части побережья мыса Казантый, на малой глубине при хорошо прогреваемой воде

заселяется диатомовыми водорослями недостаточно обильно. Однако, по нашим наблюдениям, мелкозернистые песчаные грунты, особенно в закрытых бухтах, заселяются лучше, чем крупнозернистый песок.

Сезонная динамика численности диатомовых на водорослях-макрофитах и камнях характеризуется сходной тенденцией и представлена двумя максимумами (рис. 3).

Первый пик численности диатомовых, равный $103,4 \cdot 10^4$ кл/см², наблюдали в эпифитоне водорослей-макрофитов в апреле 2006 г. при температуре воды 10 °C с максимумом численности ($N = 126,7 \cdot 10^4$ кл/см²) и биомассы ($B = 0,0013$ мг/см²), отмеченным в сентябре при температуре 19 °C (рис. 3). В апреле на поверхности камней был зарегистрирован первый пик численности ($N = 54,7 \cdot 10^3$ кл/см²) с максимумом $75,6 \cdot 10^3$ кл/см², который также характерен для сентября, но величины были на порядок ниже, чем в эпифитоне водорослей-макрофитов, что обусловлено вспышкой численности преимущественно мелкоклеточных видов *V. rutilans*, *Tabularia parva* и *Thalassionema nitzschiooides*.

В мае–июле с увеличением температуры воды в море количественные показатели диатомовых снижаются, достигая в эпифитоне кладофоры и энтероморфы своего минимального значения $17,4 \cdot 10^3$ кл/см², а на камнях – $7,5 \cdot 10^3$ кл/см². Подобную картину можно объяснить массовым выеданием микроводорослей планктонными и бентосными гидробионтами.

В августе месяце прогрев воды достигает 26 °C, т. е. наивысшей отметки за изучаемый период, при этом численность диатомовых начинает существенно возрастать, главным образом, за счет эвритеческих и эвригалинных видов родов *Rhoicosphenia*, *Tabularia*, *Navicula*. Осенью с дальнейшим понижением температуры воды в море до 9–12 °C в ноябре численность диатомовых в прибрежных сообществах снижается (рис. 3), однако ее ноябрьские значения оказались существенно выше майских и июльских показателей (табл. 1).

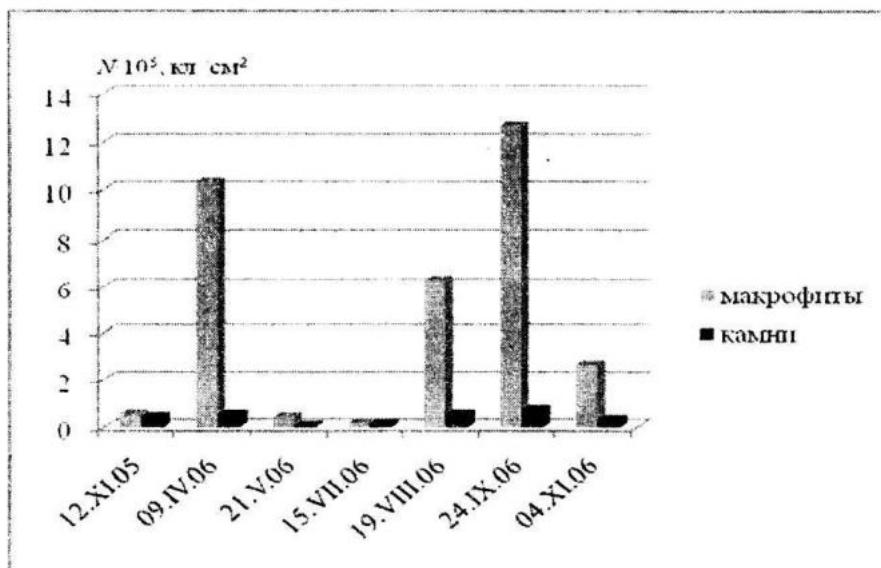


Рис. 3. Сезонная динамика численности (N) диатомовых водорослей бентоса прибрежной акватории Казантипского заповедника Азовского моря

Сезонные изменения биомассы диатомовых водорослей на талломах макро-водорослей и камнях происходят аналогично сезонной динамике их числен-

ности и характеризуются сходной тенденцией: отмечено два пика с максимумом в сентябре 2006 г. при температуре воды 19 °C (рис. 4).

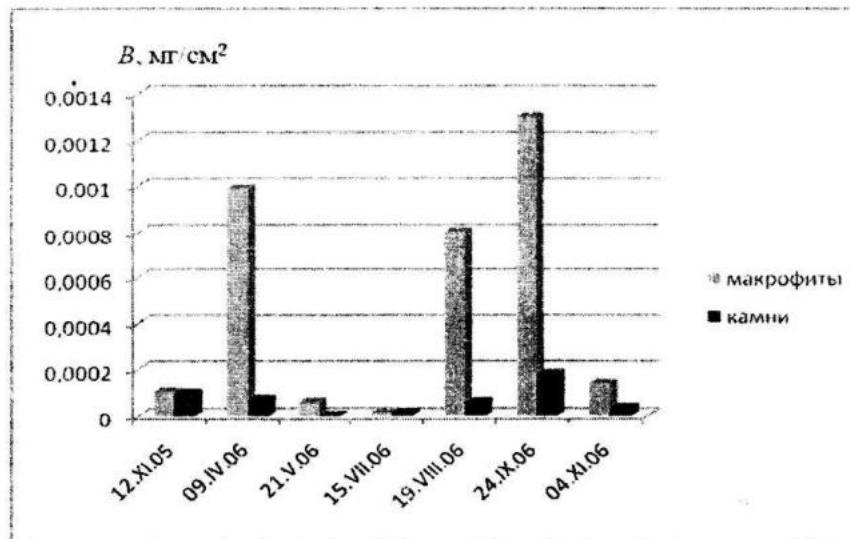


Рис. 4. Сезонная динамика биомассы (B) диатомовых водорослей в эпифитоне водорослей-макрофитов и эпилитоне прибрежной акватории Казантипского заповедника, $\text{мг}/\text{см}^2$

В целом, небольшие величины биомассы диатомовых водорослей в акватории Казантипского заповедника можно объяснить доминированием мелкоклеточных видов, особенно в летний сезон на каменистых грунтах, поэтому здесь наибольшая биомасса составляла 0,0002 $\text{мг}/\text{см}^2$ в сентябре 2006 г., но значения были ниже, чем в эпифитоне

изучаемых водорослей-макрофитов $B = 0,0013 \text{ мг}/\text{см}^2$ (рис. 4). Минимальные значения биомассы микроводорослей зарегистрированы в эпифитоне водорослей-макрофитов в июле при температуре воды 22 °C и на камнях в мае при температуре 18 °C.

Однако сезонная динамика количественных показателей диатомовых во-

дорослей мелководья находится под воздействием не только температурного фактора, но и в значительной степени фактора прибойности. Для Азовского моря с ноября по март месяц характерны нередкие шторма, а в июне-июле – частые грозы со шквальными ветрами, вызывающими существенное волнение моря. Именно в эти месяцы в береговой зоне акватории Казантипского заповедника на малых глубинах наблюдается снижение численности диатомовых водорослей.

Весной, в конце лета и начале осени устанавливается теплая и ясная погода, практически без гроз и штормов, поэтому создаются благоприятные условия для массового развития микроводорослей.

Если в микрофитобентосе Азовского моря нами обнаружено 79 видов диатомовых водорослей [4], то в акватории Казантипского заповедника выявлено 78 видов и внутривидовых таксонов (ввт) диатомовых, синезеленых и зеленых микроводорослей с преобладанием диатомовых (70 видов и ввт), что свидетельствует о высоком видовом разнообразии прибрежных вод Казантипского заповедника и хорошей кормовой базе для его морских обитателей.

Исследования показали, что видовой состав бентосных диатомовых водорослей акватории Казантипского заповедника претерпевает незначительные сезонные изменения, но при этом массовые виды встречаются круглогодично на всех типах субстратов независимо от сезона года.

Летнее снижение количественных характеристик диатомовых водорослей в береговой части моря можно объяснить повышением температуры воды на мелководье, когда ряд видов уходит на большую глубину, а также летним их выеданием многими видами беспозвоночных животных, обитающих не только на водорослях-макрофитах [13, 14], но и на других субстратах в море.

В целом, диатомовые водоросли предпочтительнее заселяют органические субстраты не только в акватории Казантипского заповедника, но и в других районах Азовского моря [4], что характерно и для Чёрного моря [8].

Так, талломы водорослей-макрофитов позволяют диатомеям укрыться от прямых солнечных лучей, а выделяемые макроскопическими водорослями метаболиты и органика от элиминации их слоевищ благоприятны для многих видов донных микроводорослей, склонных к гетеротрофному типу питания. Следует также отметить, что видовое разнообразие и численность увеличиваются при увеличении размеров площади поверхности заселяемого субстрата [14], что особенно характерно для эпифитона водорослей-макрофитов [12], имеющих разветвленные талломы, и большую удельную поверхность, чем грунты.

Заключение. Таким образом, предварительно в микрофитобентосе прибрежной части акватории Казантипского заповедника на глубине 1,0 м обнаружено 70 видов и внутривидовых таксонов диатомовых водорослей, среди которых по разнообразию преобладают виды родов *Navicula* и *Nitzschia*, а основной вклад в сообщество по численности вносят представители родов *Pseudostaurosira*, *Rhoicosphenia*, *Tabularia*, *Thalassionema*. Видовой состав диатомовых изменяется по сезонам незначительно с минимальным их разнообразием летом при температуре воды 22 °C и 26 °C, а массовые формы встречаются круглогодично.

Наиболее предпочтительным субстратом для заселения донных диатомовых водорослей являются водоросли-макрофиты, в эпифитоне которых зарегистрировано 62 вида и внутривидовых таксона, камни и пески заселяются в меньшей степени – 31 и 21 вид, соответственно.

Сезонная динамика численности и биомассы бентосных диатомовых водорослей представлена двумя максимумами для эпифитона ($N = 126,7 \cdot 10^4$ кл/см² и $B = 0,0013$ мг/см²) и эпилитона ($N = 75,6 \cdot 10^3$ кл/см²) и $B = 0,0002$ мг/см²), отмеченными в сентябре 2006 г. при температуре воды 19 °C. На песках зарегистрирована минимальная численность микроводорослей, не дающая картины сезонной динамики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Садогурская С.А., Садогурский С.Е., Белич Т.В. Аннотированный список фитобентоса Казантипского природного заповедника / С.А. Садогурская, С.Е. Садогурский, Т.В. Белич // Тр. Никит. ботан. сада. – Ялта, 2006. – Т. 126. – С. 190 – 208.
2. Садогурская С.А. Флора Cyanophyta супралиторали Казантипского природного заповедника (Азовское море) / С.А. Садогурская // Тр. Никит. ботан. сада. – 2001. – Т. 120. – С. 124 – 131.
3. Бондаренко А.В., Рябушко Л.И. Микрофитобентос Азовского моря: материалы міжнар. конф. молодих ученых ботаніків [«Актуальні проблеми ботаніки, екології та біотехнології»], (Київ, 27-30 вересня 2006 р.). – К., 2006. – С. 2.
4. Бондаренко А.В., Рябушко Л.И. Диатомовые водоросли бентоса Крымского побережья Азовского моря: материалы междунар. науч. конф. [«Современные проблемы альгологии»] и VII Школы по морской биологии (Ростов-на-Дону, 9-13 июня 2008). – Ростов-на-Дону, 2008. – С. 61–63.
5. Бондаренко А.В., Рябушко Л.И. Диатомовые водоросли бентоса акватурии Казантипского заповедника и Сивашского залива Азовского моря: материалы XI международной науч. конф., посвященной 110-летию со дня рождения В.С. Шешуковой-Порецкой [«Диатомовые водоросли как биоиндикаторы современного состояния окружающей среды и их роль в палеоэкологии и биостратиграфии (морфология, систематика, флористика, экология, палеогеография, биостратиграфия)»], (Минск, 27 сент.-2 окт. 2009). – Минск: Право и экономика, 2009. – С. 35 – 36.
6. Round F.E. The Diatoms. Biology and morphology of the genera / F.E. Round, R.M. Crawford, D.G. Mann. – Cambridge: Cambridge University, 1990. – 747 р.
7. Рябушко Л.И. Пеннатные диатомовые водоросли верхней сублиторали залива Восток / Л.И. Рябушко // Гидробиологические исследования заливов и бухт Приморья. – Владивосток, 1984. – С. 104 – 108.
8. Рябушко Л.И. Структура сообщества Bacillariophyta эпифита Gracilaria verrucosa (Huds.) Papenf. из Чёрного моря / Л.И. Рябушко // Альгология. – 1993. – Т. 3. – № 3. – С. 42 – 49.
9. Рябушко В.И., Алеев М.Ю., Радченко В.Н., Рябушко Л.И., Чубчикова И.Н. Применение некоторых биоиндикаторов для оценки состояния импактных морских экосистем / В.И. Рябушко, М.Ю. Алеев, В.Н. Радченко, Л.И. Рябушко, И.Н. Чубчикова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: Сб. науч. тр. – Севастополь, 2003. – Вып. 2(7). – С. 144 – 154.
10. Graham A.A. Measurement of surface area of stones / A.A Graham, D.J. McCaughan, F.S. McKee // Hydrobiologia – 1988. – Vol. 157, N 1. – P. 85 – 87.
11. Миничева Г.Г. Показатели поверхности водорослей в структурно-функциональной оценке макрофитобентоса (на примере северо-западной части Чёрного моря): Автoref. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.18 – гидробиология. – Севастополь, 1989. – 19 с.
12. Рябушко Л.И. Микрофитобентос Чёрного моря: Автoref. дис. ... докт. биол. наук: 03.00.17. – гидробиология. – Севастополь, 2009. – 44 с.
13. Гаевская Н.С. Питание и пищевые связи животных, обитающих среди донной растительности и в береговых выбросах Чёрного моря. Сообщение I. Питание брюхоногого моллюска *Rissoia splendida* Eichw. / Н.С. Гаевская // Тр. ИО АН СССР. – 1954. – Т. VШ, вып. 1. – С. 269 – 290.
14. Гаевская Н.С. Питание и пищевые связи животных, обитающих среди донной растительности и в береговых выбросах Чёрного моря. Сообщение II. Питание брюхоногого моллюска *Cerithiolum reticulatum* (Da Costa) / Н.С. Гаевская // Бюл. МОИП. Отд. биол. – 1956. – Т. LXI, вып. 5. – С. 31 – 46.