



# БИОРАЗНООБРАЗИЕ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

Поражение раковины устриц сверлящими губками  
семейства Clionidae: угроза для аквакультуры

ПОДОЛЬСКАЯ М.С., ЛАВРИЧЕНКО Д.С., ЧЕЛЕБИЕВА Э.С., КЛАДЧЕНКО Е.С.

ТОМ 10  
ВЫПУСК 2  
2025

## БИОРАЗНООБРАЗИЕ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

*Журнал реферируется Всероссийским институтом научно-технической информации (ВИНТИ),  
а также Российским индексом научного цитирования (РИНЦ) на базе Научной электронной библиотеки elibrary.ru.*

*Все материалы проходят двойное независимое анонимное рецензирование.*

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Главный редактор:** Горбунов Роман Вячеславович, д. г. н., ФИЦ ИнБЮМ  
**Заместитель главного редактора:** Довгаль Игорь Васильевич, д. б. н., профессор, ФИЦ ИнБЮМ  
**Ответственный секретарь:** Жукова Юлия Владимировна, ФИЦ ИнБЮМ

**Алекперов Ильхам Хайям оглы**, чл.-корр. НАН Азербайджана, д. б. н., проф., Институт зоологии НАН Азербайджана, Азербайджан

**Василов Раиф Гаянович**, д. б. н., проф., НИЦ «Курчатовский институт»

**Воскресенская Елена Николаевна**, д. г. н., проф., ИПТС

**Давидович Николай Александрович**, д. б. н., ФИЦ ИнБЮМ

**Дмитренко Павел Сергеевич**, д. х. н., ТИБОХ

**Егоров Виктор Николаевич**, академик РАН, д. б. н., проф., ФИЦ ИнБЮМ

**Илюшина Татьяна Владимировна**, д. г. н., проф., МИИГАиК

**Керимов Ибрагим Ахмедович**, д. ф.-м. н., проф., ГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова

**Киприянова Лаура Мингалиевна**, д. б. н., ИВЭП СО РАН

**Кузнецов Андрей Николаевич**, д. б. н., Совместный Российско-Вьетнамский Тропический научно-исследовательский и технологический центр

**Найденко Сергей Валерьевич**, чл.-корр. РАН, д. б. н., проф., ИПЭЭ РАН

**Неврова Елена Леонидовна**, д. б. н., ФИЦ ИнБЮМ

**Ольчев Александр Валентинович**, д. б. н., проф., МГУ им. М. В. Ломоносова

**Плугатарь Юрий Владимирович**, чл.-корр. РАН, д. с.-х. н., НБС — ННЦ РАН

**Полонский Александр Борисович**, чл.-корр. РАН, д. г. н., проф., ИПТС

**Пономарева Елена Николаевна**, д. б. н., проф., ЮНЦ РАН

**Рожнов Вячеслав Владимирович**, академик РАН, д. б. н., ИПЭЭ РАН

**Рындин Алексей Владимирович**, академик РАН, д. с.-х. н., ФИЦ СНЦ РАН

**Рябушко Виталий Иванович**, д. б. н., ФИЦ ИнБЮМ

**Солдатов Александр Александрович**, д. б. н., проф., ФИЦ ИнБЮМ

**Черных Дмитрий Владимирович**, д. г. н., доцент, ИВЭП СО РАН

**Широкова Вера Александровна**, д. г. н. проф., ИИЕТ РАН

**Яицкая Наталья Александровна**, к. г. н., ФИЦ СНЦ РАН

**Cosenza Carlos Alberto Nunes**, D. Sc., Federal University of Rio de Janeiro, Brazil

**Krykhtine Fabio Luiz Peres**, D. Sc., Federal University of Rio de Janeiro, Brazil

**Mayén-Estrada Rosaura**, PhD, National Autonomous University of Mexico, Mexico

**Pešić Vladimir**, PhD, University of Montenegro, Montenegro

**Ranasinghe Dona Marina Sherine Hemanthi**

**Kariyawasam**, PhD, University of Sri Jayewardenepura, Sri Lanka

**Tapas Chatterjee**, PhD, D. Sc., Indian School of Learning, ISM Annexe, India

#### Адрес учредителя, издателя и редакции:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Федеральный исследовательский центр «Институт биологии  
южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»  
299011, г. Севастополь, просп. Нахимова, д. 2.  
Телефон +7 (8692) 54-41-10

#### Соиздатель журнала:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
«Федеральный исследовательский центр «Субтропический  
научный центр Российской академии наук»  
354002, Россия, Краснодарский край, г. Сочи,  
ул. Яна Фабрициуса, 2/28

E-mail: [biodiversity\\_journal@ibss-ras.ru](mailto:biodiversity_journal@ibss-ras.ru) | Сайт журнала: <https://eco-ibss.ru>

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», 2025

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук», 2025

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Федеральный исследовательский центр  
«ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ имени А. О. КОВАЛЕВСКОГО РАН»

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
«Федеральный исследовательский центр  
«СУБТРОПИЧЕСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»

# БИОРАЗНООБРАЗИЕ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

2025 Том 10 вып. 2

---

Основан в мае 2016 г.

Научный журнал

Выходит 4 раза в год

---

## СОДЕРЖАНИЕ

---

### Биоразнообразие экосистем и его сохранение

---

Каширина Е. С., Панкеева Т. В., Свирин С. А. Сеточное картирование видов семейства *Orchidoideae* Juss. в заказнике «Байдарский» (г. Севастополь) ..... 3–18

Макаров М. В. Таксоцен *Gastropoda* в различных биотопах побережья бухты Ласпи (Чёрное море, Южный берег Крыма) ..... 19–31

Нартов А. С., Кожеевникова В. В., Кузнецова В. В., Мельникова А. В. Оценка вклада средств различных категорий в суммарное загрязнение атмосферы городских территорий ..... 32–49

---

### Структура, функционирование и динамика экосистем

---

Панкеева Т. В., Миронова Н. В. Ландшафтная структура прибрежной зоны юго-восточной части города Севастополя ..... 50–60

---

### Биологические ресурсы, биотехнология и аквакультура

---

Подольская М. С., Лавриченко Д. С., Челебиева Э. С., Кладченко Е. С. Поражение раковины устриц сверлящими губками семейства *Clionaidae*: угроза для аквакультуры ..... 61–84

---

### Хроника

---

Гагаева З. Ш., Горбунов Р. В. К юбилею известного учёного И. А. Керимова ..... 85–91

Federal State Budget Scientific Institution  
Federal Research Center  
«A. O. KOVALEVSKY INSTITUTE OF BIOLOGY OF THE SOUTHERN SEAS OF RAS»  
Federal State Budget Scientific Institution  
Federal Research Center  
«THE SUBTROPICAL SCIENTIFIC CENTRE OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES»

# BIODIVERSITY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT

2025 Vol. 10 iss. 2

---

Established in May 2016

Periodical

Issued 4 times a year

---

## CONTENT

---

### Biodiversity of ecosystems and its conservation

---

*Kashirina E. S., Pankeeva T. V., Svirin S. A.* The grid mapping of the Orchidoideae species  
in the Baydarsky Nature Reserve (Sevastopol) ..... 3–18

*Makarov M. V.* Gastropoda taxocene in various biotopes of the Laspi Bay coast (the Black Sea,  
Southern Coast of Crimea) ..... 19–31

*Nartov A. S., Kozhevnikova V. V., Kuznecova V. V., Mel'nikova A. V.* Assessment of the contribution  
of various categories of transport vehicles to the total pollution of the atmosphere  
of urban areas ..... 32–49

---

### Structure, functioning and dynamic of the ecosystem

---

*Pankeeva T. V., Mironova N. V.* Landscape structure of the coastal zone southeastern part  
of the city of Sebastopol ..... 50–60

---

### Biological resources, biotechnology and aquaculture

---

*Podolskaya M. S., Lavrichenko D. S., Chelebieva E. S., Kladchenko E. S.* Infestation of oyster shells  
by boring sponges of the family Clionaidae: a threat to aquaculture ..... 61–84

---

### Chronicles

---

*Gagaeva Z. Sh., Gorbunov R. V.* To the anniversary of the famous scientist I. A. Kerimov ..... 85–91



---

БИОРАЗНООБРАЗИЕ ЭКОСИСТЕМ  
И ЕГО СОХРАНЕНИЕ

---

УДК [581.9:910.27](292.471)

DOI: [10.21072/eco.2025.10.2.01](https://doi.org/10.21072/eco.2025.10.2.01)

СЕТОЧНОЕ КАРТИРОВАНИЕ ВИДОВ СЕМЕЙСТВА ORCHIDOIDEAE JUSS.  
В ЗАКАЗНИКЕ «БАЙДАРСКИЙ» (Г. СЕВАСТОПОЛЬ) \*

Каширина Е. С.<sup>1,2</sup>, Панкеева Т. В.<sup>1</sup>, Свирин С. А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,  
г. Севастополь, Российская Федерация,

<sup>2</sup>Филиал МГУ в г. Севастополе, г. Севастополь, Российская Федерация,

<sup>3</sup>ФГБУН «Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН»,  
г. Ялта, Российская Федерация,  
e-mail: [e\\_katerina.05@mail.ru](mailto:e_katerina.05@mail.ru)

**Аннотация:** В статье представлены результаты картирования видов семейства Orchidoideae Juss. (Орхидные) на территории природного заказника «Байдарский». На основе сеточного метода составлены карты для видов орхидей. Полевые работы по исследованию местообитаний видов семейства Orchidoideae проведены в заказнике в период с 2010 по 2024 г. Выявлено, что в заказнике произрастает 36 видов орхидей, относящихся к 13 родам. Наибольшим количеством видов представлены роды *Epipactis* и *Orchis*, наименьшим — *Gymnadenia*, *Neotinea*, *Stenopogon* и *Limnorchis*. Приведена интегральная карта распределения общего числа видов орхидных в заказнике на квадрат регулярной сетки. Наибольшее число видов орхидей встречается в трёх районах заказника — окрестности с. Тыловое, с. Кизилкое и урочище Бюзюк. Полученные данные могут быть использованы для ведения кадастра и мониторинговых исследований видов семейства Orchidoideae.

**Ключевые слова:** флора, особо охраняемые природные территории, Красная книга, Крым

### Введение

Сохранение биоразнообразия, в том числе и флористического разнообразия, является одной из приоритетных государственных задач в области экологии. Основой для выработки стратегий сохранения видов растительного мира выступает исследование особенностей как их биологии, экологии, так и географии распространения. В качестве одного из методов исследования закономерностей пространственного распространения живых организмов применяется картирование ареалов, отдельных мест наблюдения и других географических данных. В условиях накопления значительных объёмов флористического материала наиболее наглядным способом его отображения становится сеточное картирование [Сергеев, 2014]. Метод широко применяется как для исследования флоры какой-либо территории в целом, так и для изучения отдельных её фракций — раритетной, адвентивной, ядовитых видов и др. [Шилов, Груданов, Третьякова, 2021; Чепинова и др., 2021; Киселева, Силаева, Парахина, 2022; Тажетдинова, 2024].

Одним из ценных во флористическом отношении участков в административных границах города федерального значения Севастополя является государственный природный ландшафтный заказник «Байдарский». Флора заказника не инвентаризирована, но указывается, что она

---

\*Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ (№№ гос. регистрации 124022400152-1 и 124030100030-0).

насчитывает не менее 500 видов [Ларина, 2008]. Около сотни видов растений, произрастающих на территории заказника «Байдарский», занесены Красную книгу Севастополя (ККС) [Красная книга ... , 2018] и Красную книгу Российской Федерации (КК РФ) [Приказ Министерства ... , 2023]. Одним из наиболее примечательных семейств в заказнике, все виды которого в г. Севастополе относятся к охраняемым, являются орхидеи. Однако в последние годы отмечается увеличение антропогенной нагрузки на природные комплексы заказника, что приводит к сокращению его ландшафтного и биологического разнообразия [Позаченюк, Панкеева, Панкеева, 2020; Каширина, Панкеева, 2023].

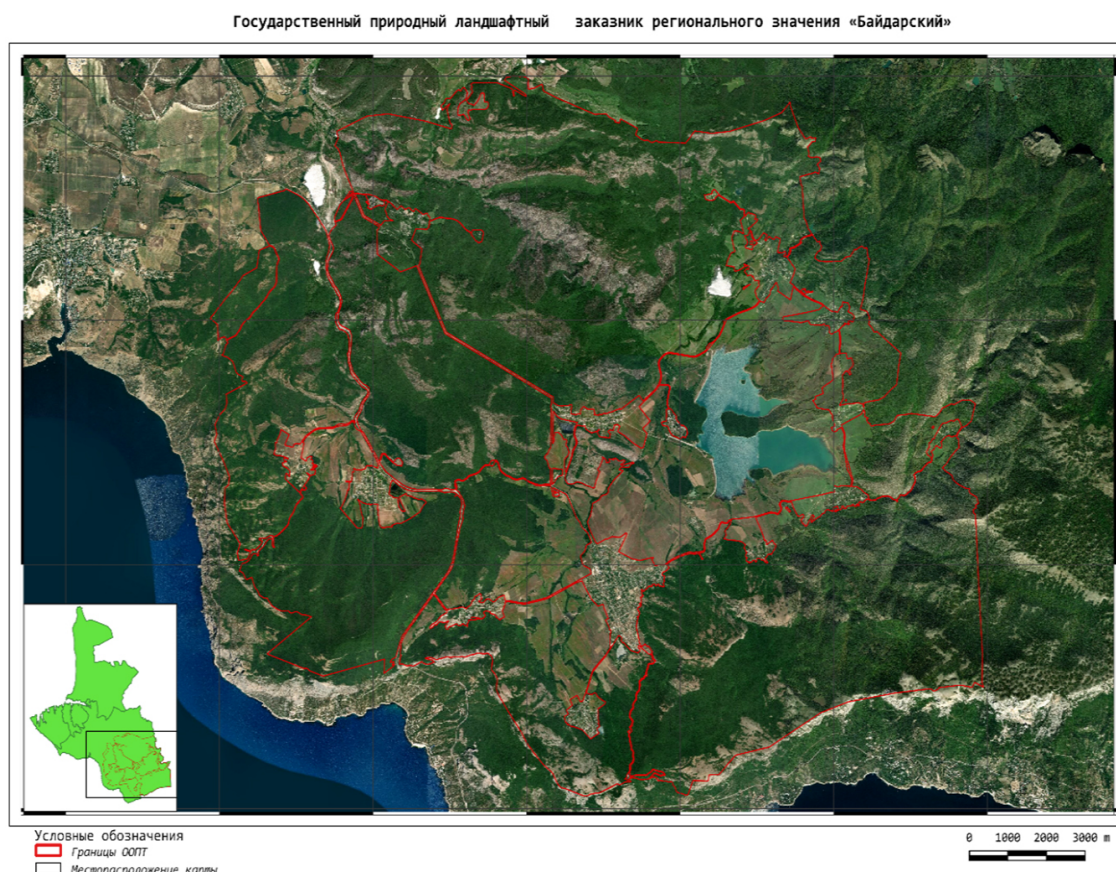
В связи с этим целью статьи является картирование и анализ пространственного распространения видов семейства Orchidoideae природного заказника «Байдарский» для выработки научно обоснованных рекомендаций по их охране.

### Материалы и методы

Природный заказник «Байдарский» находится в юго-западной части Крымского полуострова. Расположен в границах города федерального значения Севастополя, Балаклавского района, Орлиновского муниципального округа (рис. 1) и Бахчисарайского района Республики Крым. В работе обследована большая территория заказника, расположенная в границах г. Севастополя, общей площадью 21231 га. Территория заказника охватывает одноимённую межгорную котловину с прилегающими долинами и низкогорьем. Заказник располагается в двух ландшафтных зонах — широколиственных лесов северного макросклона Крымских гор и горных лугов и горной лесостепи на закарстованных плато яйлы. Природные комплексы отличаются флористическим богатством, наличием реликтовых и эндемичных видов. В пределах Байдарского низкогорья находится ценотический коридор, где происходит обмен видами растений и животных между предгорьем и ЮБК. Объект входит в состав Западно-Крымского (Байдарского) экоцентра экологического каркаса Крыма.

Данные о пространственном распространении видов семейства Orchidoideae в заказнике «Байдарский» собраны авторами во время полевых экспедиционных исследований в различные сезоны начиная с 2010 по 2024 г. Локалитеты видов отмечены с помощью GPS-приёмника. В полевых условиях собраны образцы для гербариев, выполнена фотофиксация с размещением материалов на порталах «Плантариум», iNaturalist, GBIF. Для определения видов орхидей и номенклатуры использована монография «Орхидеи Крымского полуострова» [Фатерыга, Ефимов, Свирин, 2019].

Картосхемы построены с применением свободно распространяемой топографической основы OSM. Для создания картосхем распространения охраняемых видов растений на цифровую основу заказника «Байдарский» с помощью программы QGIS наложен слой с сеткой квадратов. Квадрат сетки картирования совпадает с сеткой, использованной в ККС [Красная книга ... , 2018], что позволяет провести сравнительный анализ полученных данных. Горизонтальные линии сетки нанесены через каждые 1'55", начиная от 44°21'44" с. ш., а вертикальные — через 2'42", начиная от 33°21'39" в. д. Таким образом территория города Севастополя разделена на 86 квадратов на пространственной сетке 2,57 × 2,57 км. Территория заказника покрыта 26 квадратами флористической сетки. На квадраты сеток нанесены точки находок видов орхидей на территории заказника «Байдарский».



**Рис. 1.** Географическое положение природного заказника «Байдарский» [Особо охраняемые ... , 2020]

## Результаты и обсуждение

На основе результатов полевых исследований проведено картирование видов семейства Orchidoideae. На исследуемой территории произрастает 36 видов из 13 родов, которые представлены в приведённой таблице 1. В ККС занесено 35 видов, при этом большинство отнесено к категориям 2 (17 видов) и 3 (16 видов) [Красная книга ... , 2018]. Два вида (*Anacamptis laxiflora* subsp. *elegans* и *Ophrys apifera*) относятся к 1-й категории редкости. На федеральном уровне (КК РФ) охране подлежит 20 видов орхидей, из них к категории 3 относятся 9 видов, категории 2 — 7 видов и категории 1 — 4 вида [Приказ Министерства ... , 2023].

**Таблица 1**

**Виды семейства Orchidoideae, произрастающие в природном заказнике «Байдарский»**

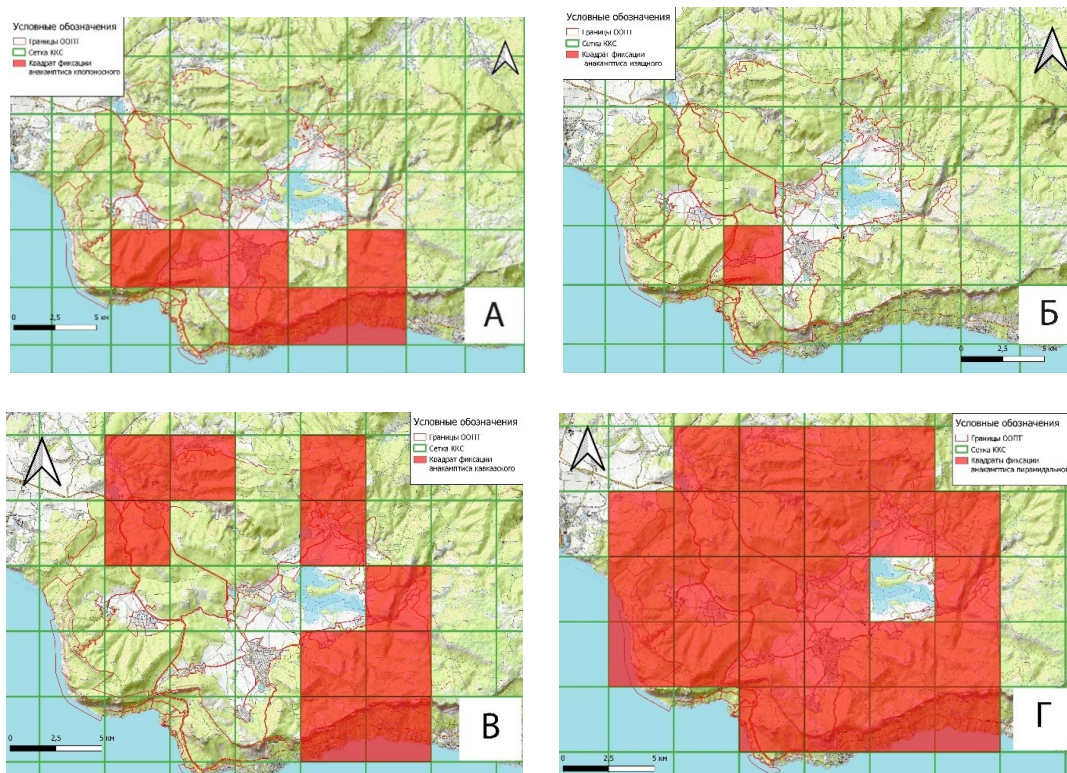
| № | Русское название       | Латинское название                                                                             | ККС | КК РФ |
|---|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------|
| 1 | Анакамптис клопоносный | <i>Anacamptis coriophora</i> (L.) R. M. Bateman, Pridgeon & M. W. Chase                        | 2   | 2     |
| 2 | Анакамптис изящный     | <i>Anacamptis laxiflora</i> subsp. <i>elegans</i> (Heuff.) Kuropatkin & Efimov                 | 1   | 1     |
| 3 | Анакамптис кавказский  | <i>Anacamptis morio</i> subsp. <i>caucasica</i> (K. Koch) H. Kretzschmar, Eccarius & H. Dietr. | 3   | 3     |

Продолжение на следующей странице...

| №  | Русское название               | Латинское название                                                       | ККС | КК РФ |
|----|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----|-------|
| 4  | Анакамптис пирамидальный       | <i>Anacamptis pyramidalis</i> (L.) Rich                                  | 3   | –     |
| 5  | Пальчатокоренник мясо-красный  | <i>Dactylorhiza incarnata</i> (L.) Soó                                   | 2   | –     |
| 6  | Пальчатокоренник римский       | <i>Dactylorhiza romana</i> (Sebast.) Soó                                 | 3   | –     |
| 7  | Полولهпестник зеленый          | <i>Dactylorhiza viridis</i> (L.) R. M. Bateman, Pridgeon & M. W. Chase   | 3   | –     |
| 8  | Кокушник комарниковый          | <i>Gymnadenia conopsea</i> (L.) R. Br.                                   | 2   | –     |
| 9  | Ремнелепестник козий           | <i>Himantoglossum caprinum</i> (M. Bieb.) Spreng.                        | 2   | 2     |
| 10 | Комперия Компера               | <i>Himantoglossum comperianum</i> (Steven) P. Delforge                   | 2   | 2     |
| 11 | Неотиния трехзубчатая          | <i>Neotinea tridentata</i> (Scop.) R. M. Bateman, Pridgeon & M. W. Chase | 2   | 3     |
| 12 | Офрис пчелоносная              | <i>Ophrys apifera</i> Huds.                                              | 1   | 1     |
| 13 | Офрис крымская                 | <i>Ophrys mammosa</i> Desf.                                              | 2   | 2     |
| 14 | Офрис оводоносная              | <i>Ophrys oestrifera</i> M. Bieb.                                        | 2   | 2     |
| 15 | Ятрышник мужской               | <i>Orchis mascula</i> (L.) L.                                            | 2   | 3     |
| 16 | Ятрышник бледный               | <i>Orchis pallens</i> L.                                                 | 2   | 1     |
| 17 | Ятрышник прованский            | <i>Orchis provincialis</i> Balb. ex Lam. & DC.                           | 2   | 1     |
| 18 | Ятрышник мелкоточечный         | <i>Orchis punctulata</i> Steven ex Lindl                                 | 2   | 3     |
| 19 | Ятрышник пурпурный             | <i>Orchis purpurea</i> Huds.                                             | 3   | 3     |
| 20 | Ятрышник обезьяний             | <i>Orchis simia</i> Lam.                                                 | 2   | 3     |
| 21 | Любка двулистная               | <i>Platanthera bifolia</i> (L.) Rich.                                    | 3   | –     |
| 22 | Любка зеленоцветковая          | <i>Platanthera chlorantha</i> (Custer) Rchb.                             | 3   | –     |
| 23 | Стевениелла сатировидная       | <i>Steveniella satyrioides</i> (Spreng.) Schltr.                         | 2   | 2     |
| 24 | Пыльцеголовник крупноцветковый | <i>Cephalanthera damasonium</i> (Mill.) Druce                            | 3   | 3     |
| 25 | Пыльцеголовник длиннолистный   | <i>Cephalanthera longifolia</i> (L.) Fritsch                             | 3   | 3     |
| 26 | Пыльцеголовник красный         | <i>Cephalanthera rubra</i> (L.) Rich                                     | 3   | 3     |
| 27 | Дремлик болотный               | <i>Epipactis palustris</i> (L.) Crantz                                   | 2   | –     |
| 28 | Дремлик морозниковый           | <i>Epipactis helleborine</i> subsp. <i>tremolsii</i> (Pau) E. Klein      | 3   | –     |
| 29 | Дремлик горнокрымский          | <i>Epipactis krymmontana</i> Kreutz, Fateryga & Efimov                   | 3   | –     |
| 30 | Дремлик тонкогубый             | <i>Epipactis leptochila</i> (Godfery) Godfery                            | 3   | –     |
| 31 | Дремлик мелколистный           | <i>Epipactis microphylla</i> (Ehrh.) Sw.                                 | 3   | –     |
| 32 | Дремлик Мюллера                | <i>Epipactis muelleri</i> Godfery                                        | 3   | –     |
| 33 | Дремлик персидский             | <i>Epipactis persica</i> (Soó) Hausskn. ex Nannf.                        | –   | –     |
| 34 | Лимодорум недоразвитый         | <i>Limodorum abortivum</i> (L.) Sw.                                      | 2   | 2     |
| 35 | Гнездовка настоящая            | <i>Neottia nidus-avis</i> (L.) Rich.                                     | 2   | –     |
| 36 | Тайник яйцевидный              | <i>Neottia ovata</i> (L.) Bluff & Fingerh.                               | 3   | –     |



На территории заказника обнаружено 4 вида орхидей, относящиеся к роду *Anacamptis* Rich.: *Anacamptis coriophora*, *A. laxiflora* subsp. *elegans*, *A. morio* subsp. *caucasica* и *A. pyramidalis* (рис. 2).



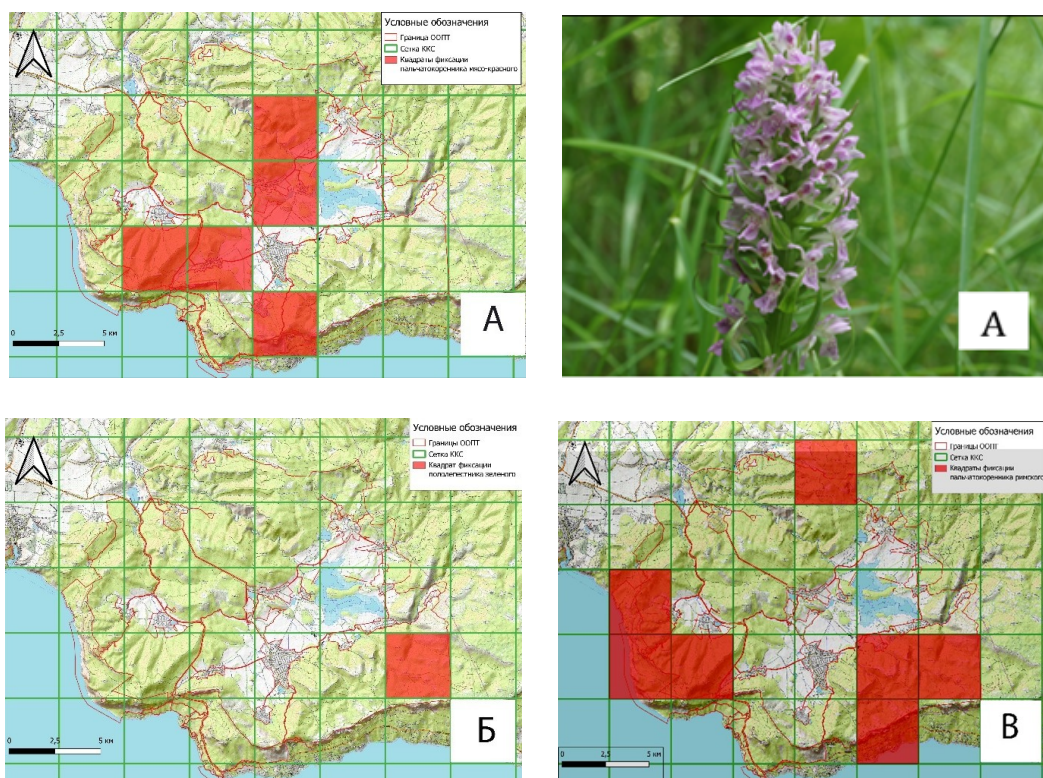
**Рис. 2.** Распространение видов рода *Anacamptis* на территории заказника «Байдарский»: а) *A. coriophora*; б) *A. laxiflora* subsp. *Elegans*; в) *A. morio* subsp. *Caucasica*; г) *A. pyramidalis*. Составлено авторами

Наибольшее распространение в заказнике имеет *A. pyramidalis* (рис. 2г), отмечаемый повсеместно и приуроченный к лесным биотопам, преимущественно к опушкам и полянам. Крупные ценопопуляции (20–50 особей) характерны для пологих и средней крутизны склонов в нижней части долины, вблизи сел Новобобровское, Тыловое, Кизиловое, Резервное и других. Узкий ареал имеют виды *A. coriophora* и *A. laxiflora* subsp. *elegans*. Указанные виды предпочитают увлажнённые открытые местообитания на лесных полянах, вдоль водотоков. Для *A. coriophora* обнаружено пять локалитетов: поляна Кую-Алан, урочище Бюзюка и небольшой участок у ручья возле с. Кизиловое, в районе г. Балчик-Кая на высоте около 950–1000 м и возле с. Тыловое (рис. 2а). *A. laxiflora* subsp. *elegans* отмечен в одном локалитете — возле с. Тыловое (рис. 2б). *A. morio* subsp. *caucasica* встречается на полянах как в низкогорном лесостепном поясе, так и в среднегорном лесном (рис. 2в).

Род *Dactylorhiza* Neck. ex Nevski в заказнике представлен 3 видами: *Dactylorhiza incarnata*, *D. romana* и *D. viridis*. Данные виды орхидей произрастают локально на территории заказника (рис. 3).

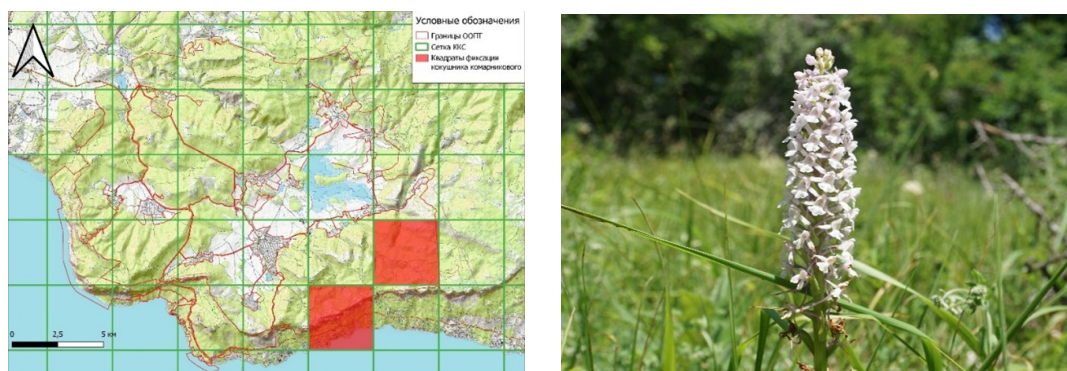
*D. romana* предпочитает светлые лесные местообитания в широколиственных лесах. Зафиксирован на склонах северной экспозиции Варнутской и Байдарской долин, а также в верховьях р. Кубалар-Су (рис. 3в). *D. incarnata* приурочен к полянам и опушкам низкогорного лесостепного пояса котловины (рис. 3а). Для *D. viridis* выявлен один локалитет — район урочища Бюзюка, преимущественно на луговых полянах (рис. 3б).





**Рис. 3.** Распространение видов рода *Dactylorhiza* на территории заказника «Байдарский»: а) *D. incarnate*; б) *D. viridis*; в) *D. romana*. Составлено авторами

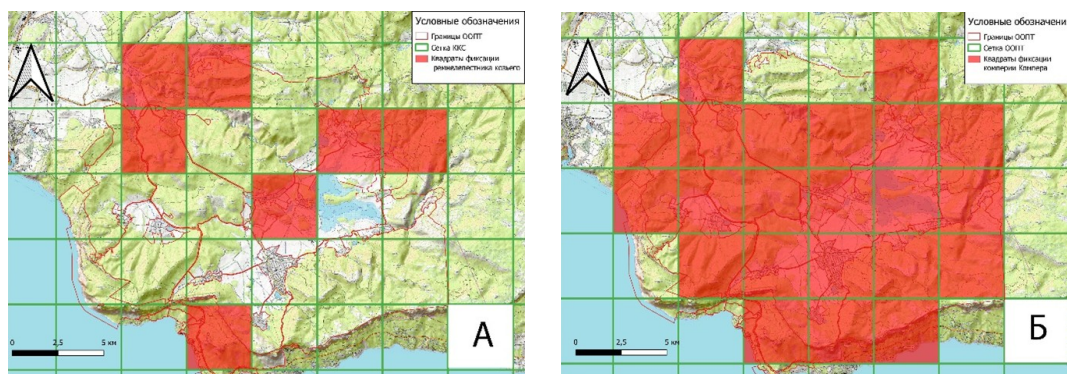
В заказнике род *Gymnadenia* R.Br. имеет наименьшую видовую представленность — *Gymnadenia conopsea*. Этот вид произрастает на влажных полянах на низко- и среднегорьях. Обнаружено два локалитета *G. conopsea* — на опушках дубово-грабовых и сосновых лесов северного склона Ай-Петринской яйлы, в районе урочища Бюзюка, и на Ай-Петринской яйле, на поляне Кую-Алан (рис. 4).



**Рис. 4.** Распространение *G. conopsea* на территории заказника «Байдарский». Составлено авторами

Для рода *Himantoglossum* Spreng. отмечены 2 вида — *Himantoglossum caprinum* и *H. comperianum* (рис. 5).

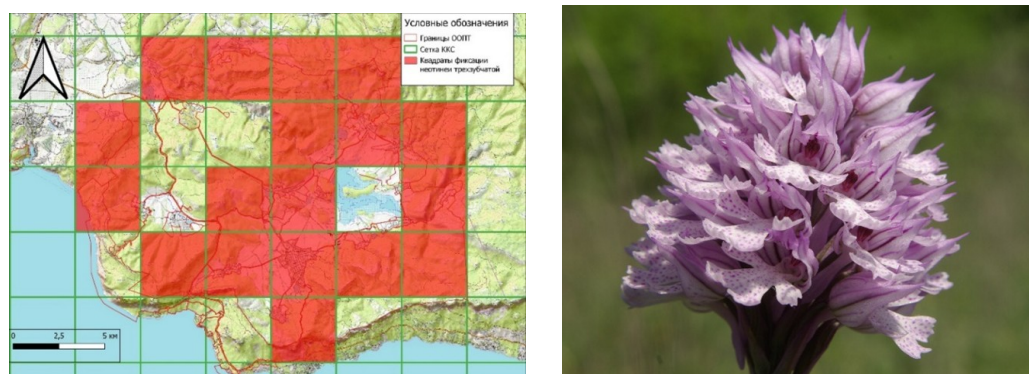
*H. comperianum* имеет широкий ареал в заказнике (рис. 5б) и типичен для можжевельниковых и дубово-грабинниковых лесов. Однако *H. caprinum* отличается узкой экологической амплитудой (рис. 5а). Вид приурочен к низкогорному поясу котловины, встречается на открытых полянах среди разнотравья, остепнённых полянах, в светлых широколиственных и можжевельниковых лесах.



**Рис. 5.** Распространение видов рода *Himantoglossum* на территории заказника «Байдарский»: а) *H. caprinum*; б) *H. comperianum*. Составлено авторами

В границах заказника выявлено несколько локалитетов вида: окрестности Тороповой дачи, с. Родное, с. Передовое, подножье г. Монастырская, Чернореченский каньон.

Из рода *Neotinea* Rchb.f. произрастает вид *Neotinea tridentata*, распространённый по всей территории заказника (рис. 6). *N. tridentata* обнаружена на склонах низкогорий, на опушках, полянах среди дубово-грабниновых лесов.



**Рис. 6.** Распространение *N. tridentata* на территории заказника «Байдарский». Составлено авторами

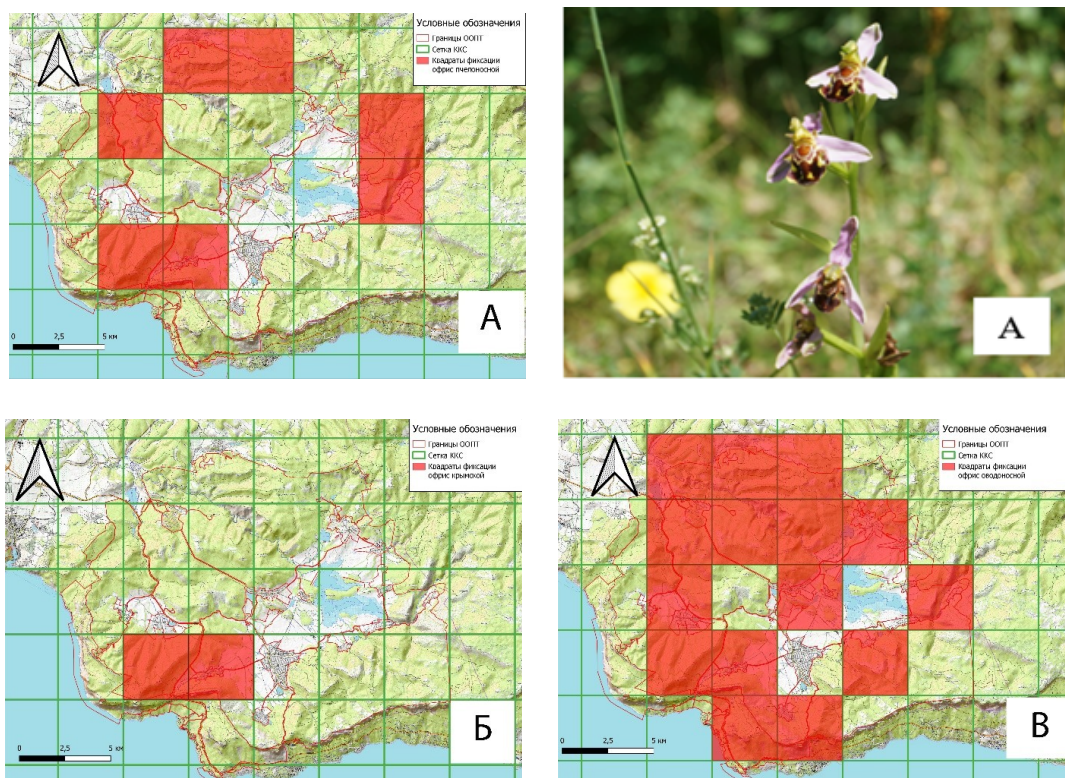
На территории заказника зафиксировано три вида рода *Ophrys* L. — *Ophrys apifera*, *O. mammosa* и *O. oestriifera* (рис. 7).

С наиболее высоким охранным статусом (категория 1 КК РФ) *O. apifera* произрастает на территории заказника в светлых дубовых и дубово-грабовых лесах, среди кустарников, на полянах и луговинах. Вид отмечен в окрестностях сёл Тыловое (г. Каланых-Кая, г. Кутур-Кая), Орлиное (г. Пска-Баир), Новобобровское (рис. 7а). Остальные виды рода *Ophrys* имеют схожие условия местообитаний. *O. mammosa* отмечена на очень ограниченной территории, это два локалитета в районе с. Тыловое — подножье г. Кутур-Кая и склон хр. Кокия-Бель (рис. 7б). *O. oestriifera* распространена гораздо шире и представлена на большей части заказника «Байдарский» (рис. 7в).

Род *Orchis* Tourn. ex L. — один из наиболее широко представленных в заказнике, произрастает 6 видов: *Orchis simia*, *O. mascula*, *O. pallens*, *O. provincialis*, *O. punctulata*, *O. purpurea* (рис. 8).

Массово встречаются *O. purpurea* и *O. simia*, отмеченные практически на всей территории заказника (рис. 8а, 8е). Виды отличаются разнообразными экологическими условиями: произрастают под пологом дубово-грабового леса, в шибляках, на открытых лугово-степных полянах. *O. punctulata* и *O. mascula* менее распространены в заказнике (рис. 8б и 8д). Оба вида произрастают под пологом дубово-грабовых лесов, на полукоткрытых полянах среди редколесий, в мезофитных





**Рис. 7.** Распространение видов рода *Ophrys* на территории заказника «Байдарский»: а) *O. apifera*; б) *O. mammosa*; в) *O. oestriifera*. Составлено авторами

условиях увлажнения. Более редкие *O. pallens* и *O. provincialis* характеризуются незначительным количеством локалитетов: *O. pallens* зафиксирован в одном локалитете, расположенном на северном склоне г. Орлиное Гнездо (с. Кизиловое) (рис. 8в), *O. provincialis* отмечен в двух локалитетах — возле с. Тыловое и на склоне Байдарской яйлы (с. Кизиловое) (рис. 8г).

Род *Platanthera* Rich. представлен двумя видами — *Platanthera bifolia* (рис. 9а) и *P. Chlorantha* (рис. 9б).

Обнаруженные виды рода *Platanthera* произрастают на затенённых местообитаниях, под пологом широколиственных лесов — дубово-грабовых, буковых, изредка на открытых луговых полянах. Тем не менее *P. bifolia* встречается реже, чем *P. chlorantha* (рис. 9б).

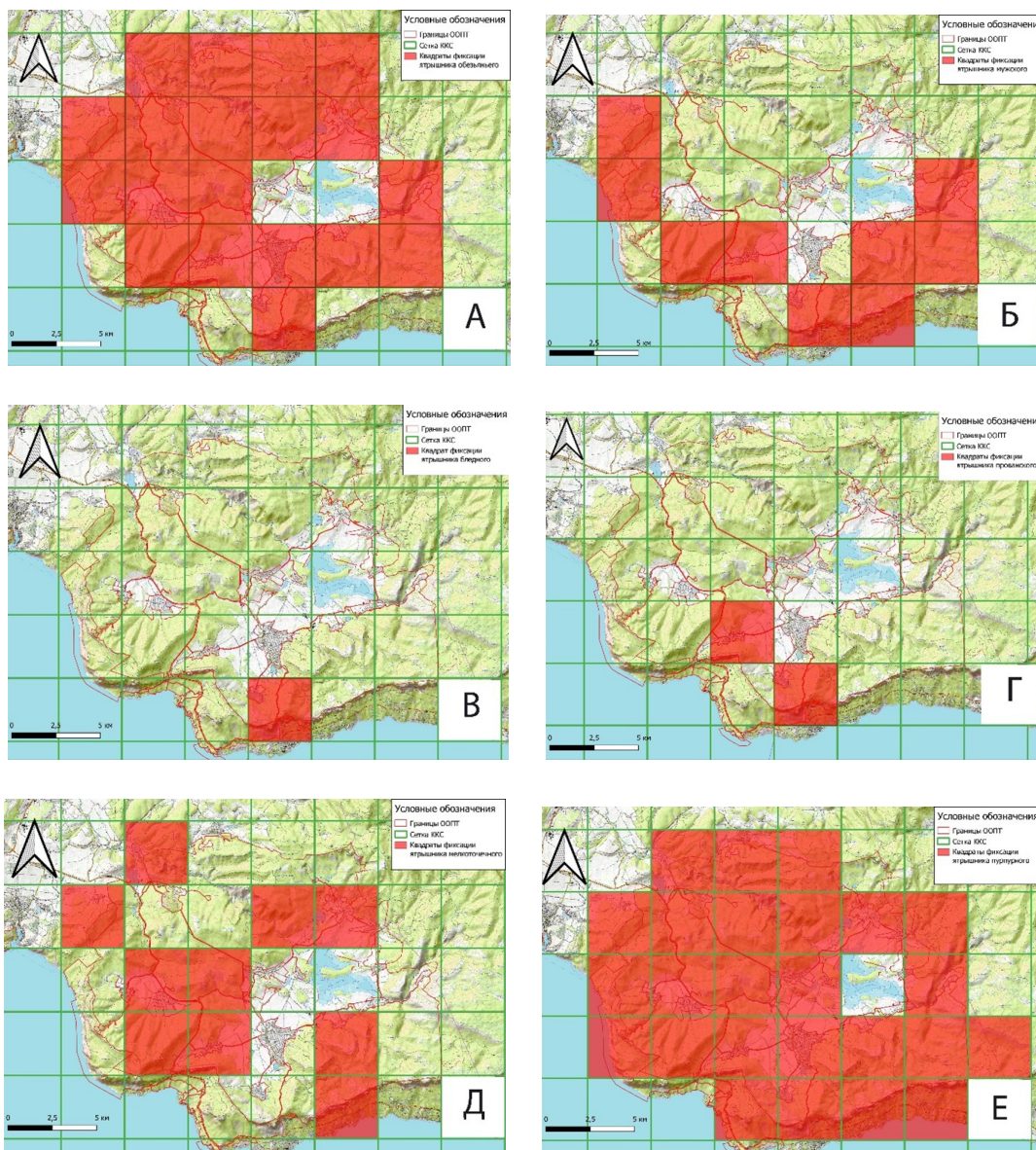
Из рода *Stenisiella* Schltr. в заказнике произрастает только один вид — *Stenisiella satyrioides* (рис. 10).

*S. satyrioides* предпочитает полуоткрытые местообитания, в заказнике отмечена под пологом негустого дубово-грабового леса, на лесных полянах. Локалитеты этого вида зафиксированы на склонах г. Кутур-Кая и на склонах г. Куш-кая, на границе с заказником «Мыс Айя».

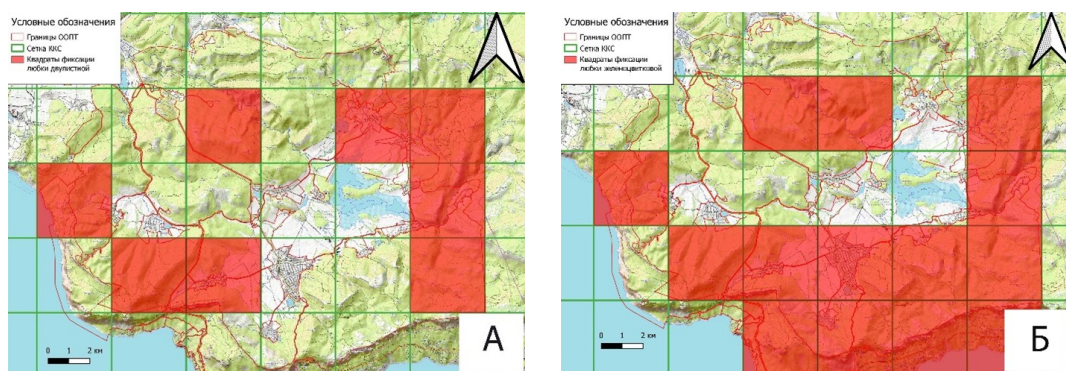
Из рода *Cephalanthera* Rich. встречаются три вида: *Cephalanthera damasonium*, *C. longifolia* и *C. rubra* (рис. 11).

*C. rubra* произрастает на территории заказника в лиственных (дубовых, буковых), хвойных (можжевельниковых, сосновых) и смешанных лесах, иногда — на лесостепных участках. *C. rubra* — эврибионт по отношению к субстрату, в связи с чем его можно встретить на известняковых горных породах, на конгломератах или сланцах таврической серии (рис. 11в). *C. damasonium* и *C. longifolia* широко представлены в заказнике (рис. 11а, 11б). Виды предпочитают затенённые участки, под пологом буковых и дубово-грабовых лесов.





**Рис. 8.** Распространение видов рода *Orchis* на территории заказника «Байдарский»: а) *O. simia*; б) *O. mascula*; в) *O. pallens*; г) *O. provincialis*; д) *O. punctulata*; е) *O. purpurea*. Составлено авторами



**Рис. 9.** Распространение видов рода *Platanthera* на территории заказника «Байдарский»: а) *P. bifolia*; б) *P. chlorantha*. Составлено авторами





Рис. 10. Распространение *S. satyrioides* на территории заказника «Байдарский». Составлено авторами

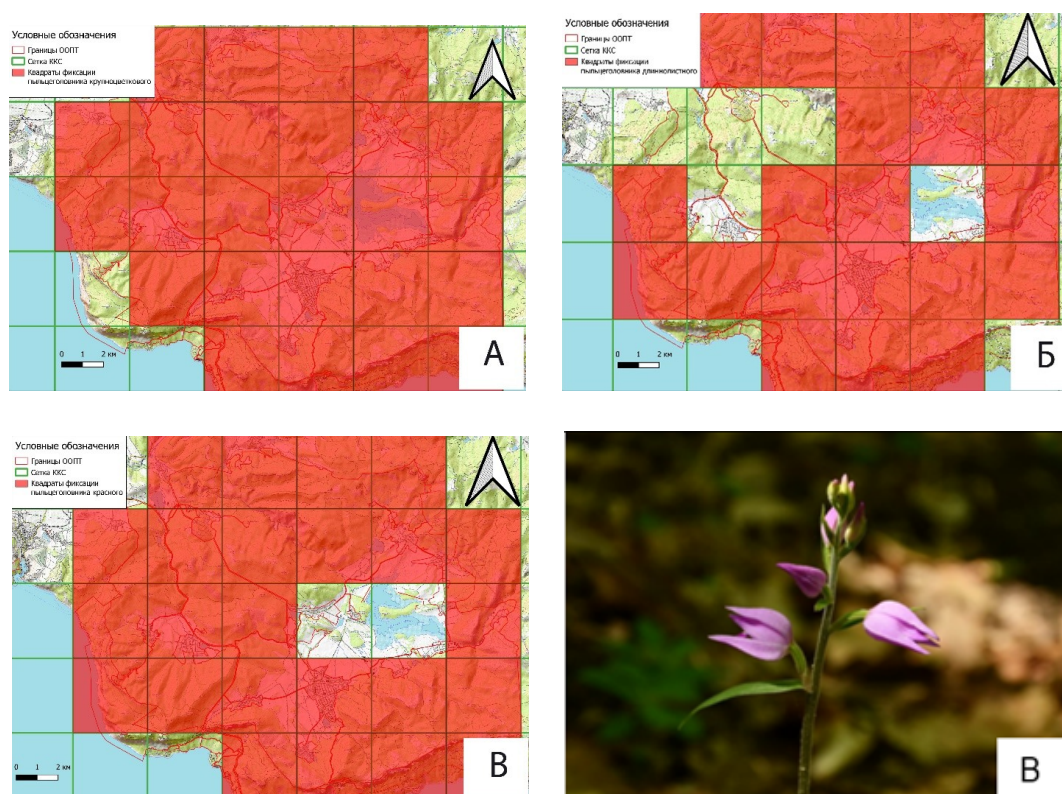


Рис. 11. Распространение видов рода *Cephalanthera* на территории заказника «Байдарский»: а) *C. damasonium*; б) *C. longifolia*; в) *C. rubra*. Составлено авторами

Наибольшим числом видов (7 видов) представлен род *Epipactis* Zinn: *Epipactis helleborine*, *E. krymmontana*, *E. leptochila*, *E. microphylla*, *E. muelleri*, *E. persica* и *E. palustris* (рис. 12).

Наиболее распространённые в заказнике виды этого рода — *E. helleborine* и *E. microphylla* произрастают в лесных (буковых, буково-грабовых и дубово-буковых) биотопах (рис. 12а, 12г). *E. leptochila* распространён в дубовых, дубово-грабниковых и дубово-кисликовых лесных биотопах. Ценопопуляции вида обнаружены в пяти локалитетах: окрестности с. Кисликово, с. Родниковское (устье р. Боса) и с. Тыловое (подножье г. Каланых-Кая) [Фатерыга В., Фатерыга А., Сви-рин, 2015], а также в районе с. Тыловое (северный склон г. Каланых-Кая), склон над с. Морозовка (рис. 12в). *E. muelleri* отмечен в лесных биотопах и обнаружен в трёх локалитетах: в урочище Бюзюка, близ с. Кисликово и на склонах г. Каланых-Кая (рис. 12д). *E. krymmontana* растёт в лесных (буковых, буково-грабовых и дубово-буковых) биотопах [Fateryga et al., 2014]. На территории заказника выявлено два локалитета *E. krymmontana* — пологий влажный склон

с дубово-грабовым лесом, окрестности ур. Бюзюка (ближе к ручью) и склон г. Каланых-Кая (рис. 12б). *E. persica* также отмечен в двух локалитетах — на Ай-Петринской яйле, около вершины г. Мердвен-Каясы, и в Чернореченском каньоне (рис. 12е). *E. palustris* является узко распространённым видом и зафиксирован на осветлённых переувлажнённых лугах и руслах ручьёв в горной части. В заказнике выявлены несколько локалитетов в Чернореченском каньоне (рис. 12ж).

Для рода *Limodorum* Boehm. отмечен один вид — *Limodorum abortivum* (рис. 13). Вид преимущественно встречается под пологом широколиственного леса, в затенённых местообитаниях. Тем не менее его можно встретить и на опушках леса. *Limodorum abortivum* широко распространён на исследуемой территории (рис. 13).

Род *Neottia* Guett. в заказнике «Байдарский» представлен двумя видами — *Neottia nidus-avis* и *N. ovata* (рис. 14).

*N. nidus-avis* произрастает под пологом широколиственных (дубово-грабовых, буковых и кленовых) лесов (рис. 14а), в связи с чем этот вид широко представлен на территории заказника. Однако для вида характерна низкая плотность популяции, а ценопопуляции состоят из нескольких особей. *N. ovata* встречается гораздо реже, чем *N. nidus-avis*. *N. ovata* преимущественно тяготеет к влажным затенённым местообитаниям под пологом леса, возле водотоков. *N. ovata* отмечена для трети квадратов, покрывающих территорию заказника «Байдарский» (рис. 14б).

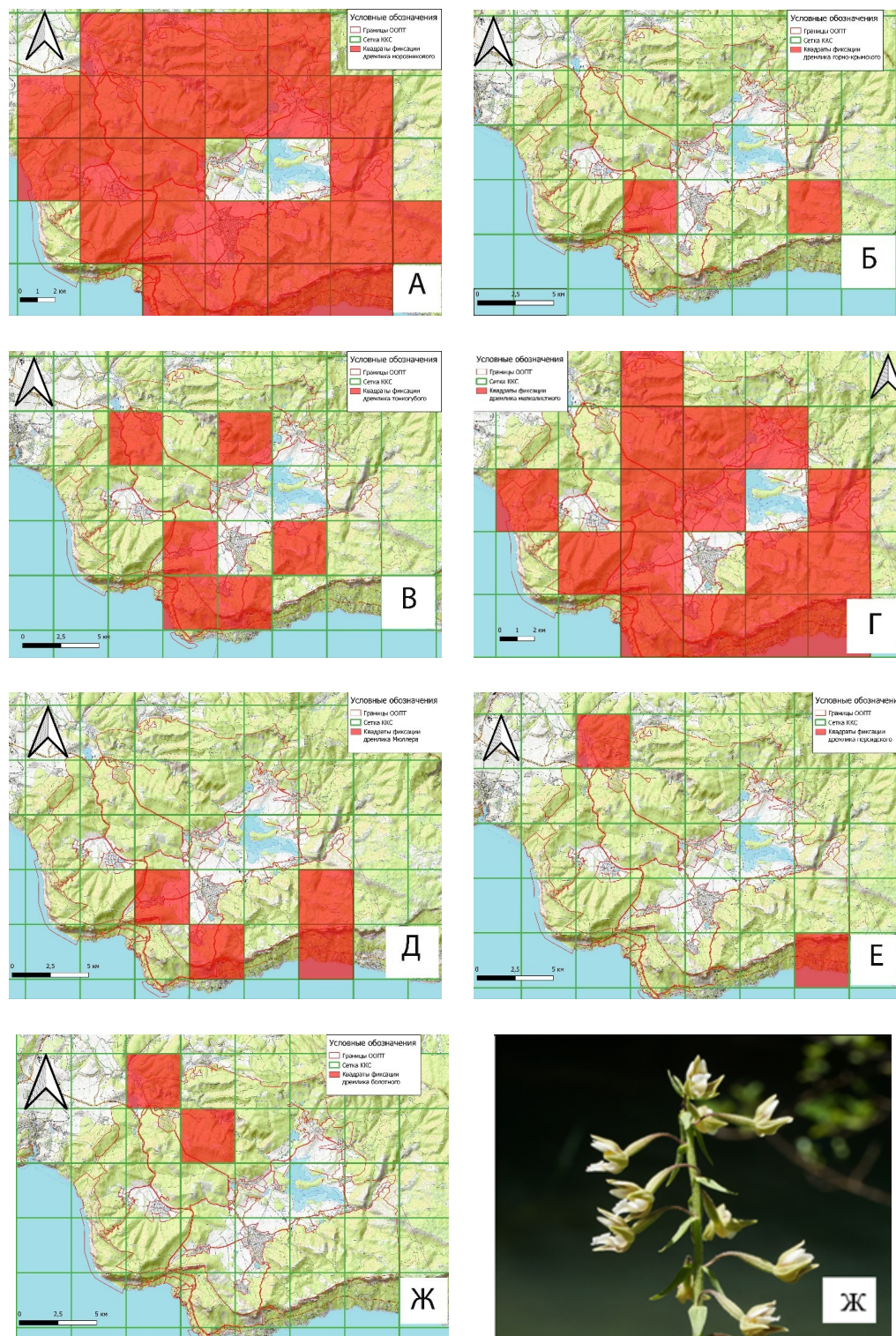
По сводке орхидных флоры Крыма [Фатерыга, 2019], на полуострове встречаются 45 видов орхидей, 36 (80 %) из которых отмечены авторами на территории заказника «Байдарский». В научной литературе и гербарных сборах имеются сведения ещё о трёх видах. Так, имеются указания о произрастании ятрышника Стевена (*Orchis militaris* subsp. *stevenii* (Rchb. f.) B. Baumann, H. Baumann, R. Lorenz & Ruedi Peter) [Ларина, 2008], пальчатокоренника иберийского (*Dactylorhiza iberica* (M. Bieb. ex Willd.) Soó) [Ларина, 2008] и ладьяна трёхраздельного (*Corallorhiza trifida* Châtel.) [Фатерыга, Ефимов, Свирин, 2019]. Однако в ходе многолетних полевых работ указанные виды не обнаружены. В списке ККС отсутствует *E. persica* в связи с обнаружением вида после выхода Красной книги Севастополя [Красная книга ... , 2018]. Таким образом, приведённый список видов семейства Orchidoideae не является полным и возможны дальнейшие находки, дополнения и уточнения.

На основе совмещения картосхем видов семейства Orchidoideae получена интегральная карта общего числа видов, попадающих в квадрат регулярной сетки. Общее число видов семейства Orchidoideae на квадрат регулярной сетки варьирует от 2 до 29 при среднем значении 14 видов (рис. 15). Картирование видов орхидей позволило выделить на территории заказника три района с максимальным количеством видов семейства Orchidoideae (рис. 15).

Обобщение и анализ имеющихся материалов показали, что наибольшее количество видов орхидей зафиксировано в районе с. Тыловое: в одном квадрате обнаружено 29 видов, в прилегающем квадрате — 22 вида. Основными местообитаниями являются склоны и выровненные поверхности у подножья г. Кутур-Кая, а также нижняя часть северного склона г. Каланых-Кая. Склоны гор сложены плотными юрскими известняками, а днище котловины — глинами мелового возраста, что способствует формированию сети водотоков. И, как следствие, на увлажнённых участках формируются лугово-степные растительные сообщества, где наиболее распространены виды родов *Anacamptis*, *Ophrys*, *Orchis*, *Platanthera*, *Steveniella*, *Cephalanthera*.

Вторым по насыщенности видами орхидей является квадрат в районе урочища Бюзюка на северном склоне Ай-Петринской яйлы, в котором обнаружено 24 вида. Рельеф урочища представляет собой относительно выровненный участок между г. Бюзюка и г. Анахлы-Бель. Местность обводнена — имеются родники, колодец, отсюда берёт начало один из притоков р. Боса. Характерны лесные и луговые биотопы. Преобладают виды родов *Anacamptis*, *Gymnadenia*, *Orchis*, *Platanthera*, *Cephalanthera*, *Epipactis*, *Limodorum*, *Neotinea*, *Neottia*.

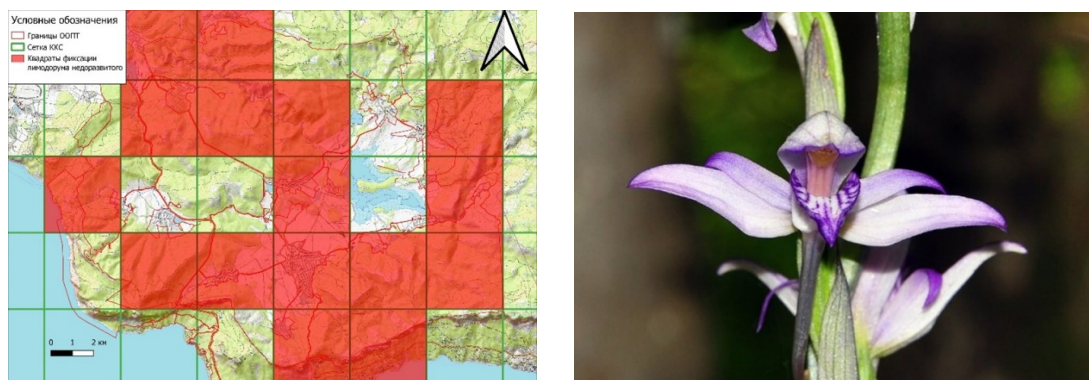




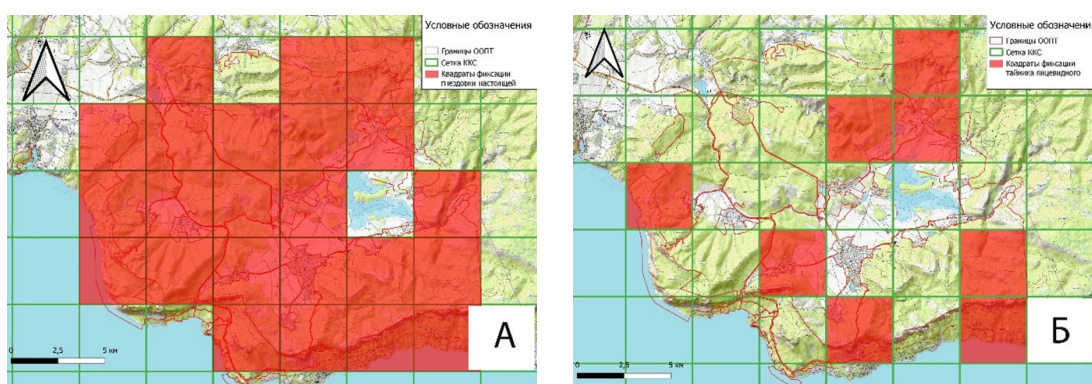
**Рис. 12.** Распространение видов рода *Epipactis* на территории заказника «Байдарский»: а) *E. Helleborine* subsp. *tremolsii*; б) *E. krummontana*; в) *E. leptochila*; г) *E. microphylla*; д) *E. mueller*; е) *E. persica*; ж) *E. palustris*. Составлено авторами

Третьим районом по количеству видов орхидей являются окрестности с. Кизиловое, занимающее водораздельные пространства между склонами двух известняковых гор: Орлиное Гнездо и Байдарская яйла. Зафиксирован 21 вид орхидей. Представлены рода *Anacamptis*, *Ophrys*, *Orchis*, *Platanthera*, *Dactylorhiza*, *Cephalanthera*, *Epipactis*, *Limodorum*, *Neotinea*, *Neottia*.

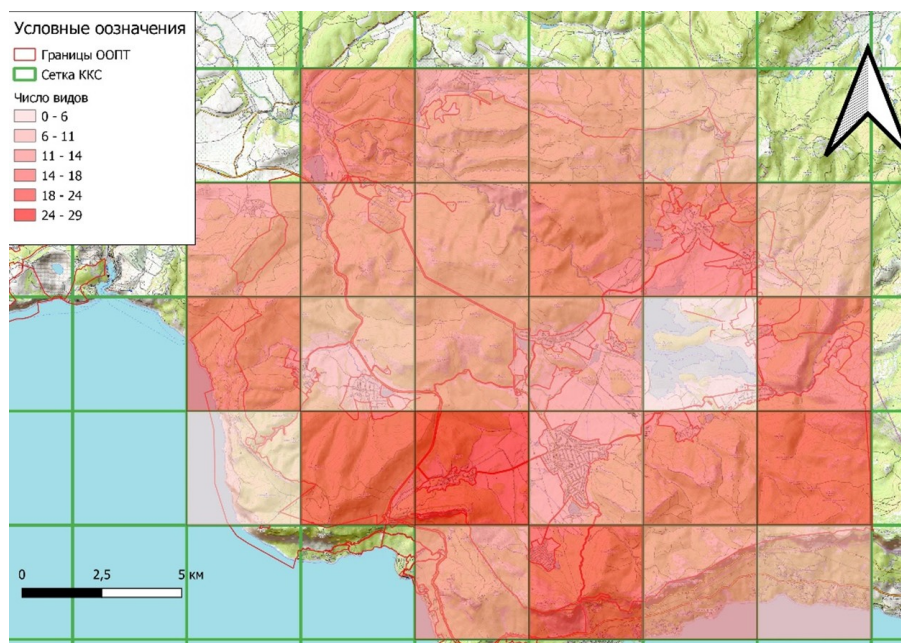




**Рис. 13.** Распространение *L. abortivum* на территории заказника «Байдарский». Составлено авторами



**Рис. 14.** Распространение видов рода *Neottia* на территории заказника «Байдарский»: а) *N. nidus-avis*; б) *N. ovate*. Составлено авторами



**Рис. 15.** Сводная картосхема флористического богатства видов семейства орхидные на территории заказника «Байдарский». Составлено авторами



Минимальное количество видов орхидей отмечено в центральной части заказника, в районе Чернореченского водохранилища. Это обусловлено как относительно большой площадью водной поверхности, так и ограничением доступа в водоохранную зону водохранилища, что лимитирует проведение полевых работ.

Полученные данные могут быть использованы для ведения кадастра и мониторинговых исследований, в частности видов семейства Orchidoideae, составления региональных карт распространения и списков видов, занесённых в ККС и КК РФ. Также пространственные особенности распространения орхидных могут быть положены в основу изменения функционального зонирования заказника.

### Выводы

1. Показано, что на территории заказника «Байдарский» произрастает 36 видов орхидей, относящихся к 13 родам. Приведенный список видов семейства Orchidoideae не является полным и возможны дальнейшие находки, дополнения и уточнения.

2. Отмечено, что наибольшим количеством видов представлены рода *Epipactis* (7 видов) и *Orchis* (6 видов), наименьшим (1 вид) — *Gymnadenia*, *Neotinea*, *Stenipennis* и *Limnorchis*.

3. Анализ картосхем пространственного распространения видов орхидей показал широкое распространение по территории заказника следующих видов: *A. pyramidalis*, *H. comperianum*, *O. purpurea*, *O. oestriifera*, *O. simia*, *O. purpurea*, *C. damasonium*, *C. longifolia*, *C. rubra*, *E. helleborine* subsp. *tremolsii*, *E. microphylla*, *L. abortivum*, *N. nidus-avis*. Узкий ареал характерен для *A. laxiflora* subsp. *elegans*, *D. viridis*, *G. conopsea*, *O. mammosa*, *O. pallens*, *O. provincialis*, *E. krymmontana*, *E. persica*, *E. palustris*.

4. На основе сеточного картирования территории заказника определено число видов семейства Orchidoideae на квадрат регулярной сетки, которое колеблется от 2 до 29, среднее — 14 видов. Столь плотное произрастание видов орхидей на локальной площади делает заказник «Байдарский» одним из уникальных центров биоразнообразия.

5. Установлено, что наибольшее количество видов семейства Orchidoideae на территории заказника произрастает в трёх районах: окрестности с. Тыловое, с. Кизиловое и урочище Бюзюка. Выявлено, что видовой состав орхидей для выделенных районов существенно различается. Различия обусловлены их эколого-биологическими и фитоценоотическими особенностями.

### Список литературы

1. Каширина Е. С., Панкеева Т. В. Воздействие рекреации на почвенно-растительный покров особо охраняемых природных территорий Севастополя (на примере Большой Севастопольской тропы) // Географическая среда и живые системы. – 2023. – № 4. – С. 91–107. – <https://doi.org/10.18384/2712-7621-2023-4-91-107>
2. Киселева Л. Л., Силаева Ж. Г., Парашина Е. А. Адвентивные растения юго-восточной части Орловской области // Вестник аграрной науки. – 2022. – № 6. – С. 54–60. – <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2022.6.54>
3. Красная книга города Севастополя / отв. ред.: И. В. Довгаль, В. В. Корженевский. – Калининград ; Севастополь : РОСТ–ДОАФК, 2018. – 432 с.
4. Ларина Т. Г. Природно-антропогенный комплекс заказника «Байдарский». – Симферополь : Н.Оріанда, 2008. – 56 с.
5. Особо охраняемые природные территории Севастополя / под ред. Е. И. Голубевой, Е. А. Позаченюк – Симферополь : АРИАЛ, 2020. – 140 с.
6. Позаченюк Е. А., Панкеева А. Ю., Панкеева Т. В. Современные ландшафты

- природного заказника «Байдарский» // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. География. Геология. – 2020. – Т. 6, № 1. – С. 144–155. – <https://elibrary.ru/qjmvdb>
7. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 23 мая 2023 г. № 320 «Об утверждении Перечня объектов растительного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации» // Гарант.ру : информ.-правовой портал. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/407319098/> (дата обращения: 10.12.2024).
8. Сerezин А. П. Флора Владимирской области: анализ данных сеточного картирования. – Москва : Тов-во науч. изд. КМК, 2014. – 441 с.
9. Тажетдинова Д. М. Сеточное картирование видов Asteraceae в Кугитангском ботанико-географическом районе // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. – 2024. – Т. 23, № 1. – С. 260–262. – <https://doi.org/10.14258/pbssm.2024047>
10. Фатерыга А. В. Новый чеклист орхидных (Orchidaceae) флоры Крыма // Экосистемы. – 2019. – № 17. – С. 38–43. – <https://elibrary.ru/yyxwpm>
11. Фатерыга А. В., Ефимов П. Г., Свирин С. А. Орхидеи Крымского полуострова. – Симферополь : АРИАЛ, 2019. – 224 с.
12. Фатерыга В. В., Фатерыга А. В., Свирин С. А. *Epipactis leptochila* (Godfery) Godfery (Orchidaceae) – новый вид для флоры России // Turczaninowia. – 2015. – Т. 18, № 4. – С. 36–40. – <https://doi.org/10.14258/turczaninowia.18.4.4>
13. Чепинога В. В., Протопопова М. В., Павличенко В. В., Дудов С. В. Экологическая приуроченность неморальных реликтовых видов растений на хребте Хамар-Дабан (юг Восточной Сибири) по данным сеточного картирования // Экология. – 2021. – № 3. – С. 205–216. – <https://doi.org/10.31857/S0367059721030057>
14. Шилов Д. С., Груданов Н. Ю., Третьякова А. С. Опыт изучения флоры Висимского государственного природного биосферного заповедника методом сеточного картирования // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. – 2021. – Т. 20, № 2. – С. 180–187. – <https://doi.org/10.14258/pbssm.2021138>
15. *Epipactis muelleri* Godfery // Плантариум. Растения и лишайники России и сопредельных стран : открытый онлайн-атлас и определитель растений. – URL: <https://www.plantarium.ru/page/view/item/52778.html> (дата обращения: 10.12.2024).
16. Fateryga A. V., Fateryga V. V., Kreutz K. C. A. J., Efimov P. G. *Epipactis krymmontana* (Orchidaceae), a new species endemic to the Crimean Mountains and notes on the related taxa in the Crimea and bordering Russian Caucasus // Phytotaxa. – 2014. – Vol. 172, iss. 1. – P. 22–30. – <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.172.1.3>
17. *Orchis provincialis* Balb. ex Lam. & DC // Плантариум. Растения и лишайники России и сопредельных стран : открытый онлайн-атлас и определитель растений. – URL: <https://www.plantarium.ru/page/view/item/25742.html> (дата обращения: 10.12.2024).

## THE GRID MAPPING OF THE ORCHIDOIDEAE SPECIES IN THE BAYDARSKY NATURE RESERVE (SEVASTOPOL)

Kashirina E. S.<sup>1,2</sup>, Pankeeva T. V.<sup>1</sup>, Svirin S. A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,

<sup>2</sup> Sevastopol branch of Moscow State University, Sevastopol, Russian Federation,

<sup>3</sup> Nikita Botanical Gardens — National Scientific Center of the RAS, Yalta, Russian Federation,  
e-mail: [e\\_katerina.05@mail.ru](mailto:e_katerina.05@mail.ru)

**Abstract:** The article presents the results of mapping the species of the family Orchidoideae Juss. (Orchids) on the territory of the Baydarsky Nature Reserve. Based on the grid method, maps for orchid species have been compiled. Fieldwork to study the habitats of species of the Orchidoideae family was carried out in the reserve in the period from 2010 to 2024. It was revealed that 36 species of orchids belonging to 13 genera grow



in the reserve. The genera *Epipactis* and *Orchis* are represented by the largest number of species, while *Gymnadenia*, *Neotinea*, *Steveniella*, and *Limodorum* are the smallest. An integral map of the distribution of the total number of orchid species in the reserve per square of a regular grid is presented. The largest number of orchid species is found in three areas of the reserve — the vicinity of the village of Tylovoe, village of Kizilovoe and the tract of Buzyuk. The data obtained can be used to maintain an inventory and monitoring studies of species of the Orchidoideae family.

**Keywords:** flora, specially protected natural areas, Red Book, Crimea

#### Сведения об авторах

|                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Каширина<br>Екатерина<br>Сергеевна | кандидат географических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация, <a href="mailto:e_katerina.05@mail.ru">e_katerina.05@mail.ru</a>       |
| Панкеева<br>Татьяна<br>Викторовна  | доктор географических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация, <a href="mailto:tatyanapankeeva@yandex.ru">tatyanapankeeva@yandex.ru</a> |
| Свирин<br>Сергей<br>Александрович  | инженер-исследователь гербария, ФГБУН «Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», Никитский спуск, 52, пгт Никита, Ялта, 298648, Российская Федерация, <a href="mailto:sapsan7@mail.ru">sapsan7@mail.ru</a>                                       |

*Поступила в редакцию 20.01.2025 г.*

*Принята к публикации 20.03.2025 г.*

## ТАКСОЦЕН GASTROPODA В РАЗЛИЧНЫХ БИОТОПАХ ПРИБРЕЖЬЯ БУХТЫ ЛАСПИ (ЧЁРНОЕ МОРЕ, ЮЖНЫЙ БЕРЕГ КРЫМА) \*

Макаров М. В.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,  
г. Севастополь, Российская Федерация,  
e-mail: [makarov@ibss-ras.ru](mailto:makarov@ibss-ras.ru)

**Аннотация:** Исследован видовой состав, численность, биомасса и трофическая принадлежность Gastropoda в пяти биотопах прибрежной части акватории (включая супралитораль) бухты Ласпи, расположенной у Черноморского побережья Крыма, в июне и сентябре 2023 г. Всего отмечено 14 видов брюхоногих моллюсков. На рыхлых (песчаных) и галечных субстратах обнаружено 11 видов Gastropoda. Средняя численность составила  $509 \pm 76$  экз./м<sup>2</sup>, средняя биомасса была  $2,719 \pm 0,333$  г/м<sup>2</sup>. По этим показателям значительно доминировал *Bittium reticulatum* Da Costa, 1778. В зарослях водорослей цистозиры найдено 5 видов Gastropoda (средняя численность  $119 \pm 28$  экз./кг, средняя биомасса  $3,856 \pm 0,924$  г/кг с преобладанием *Rissoa splendida* Eichwald, 1830), в эпифитоне *Ulva intestinalis* Linnaeus, 1753 также отмечено 4 вида брюхоногих моллюсков и тоже с доминированием *R. splendida*. Средняя численность Gastropoda на ульве составила 1667 экз./кг, а средняя биомасса — 7,265 г/кг. В супралитории на валунах обнаружен типичный обитатель зоны заплеска *Melaraphe neritoides* Linnaeus, 1758 со средней численностью 71 экз./м<sup>2</sup>. Показана размерная структура данного вида. В обрастаниях естественных твёрдых субстратов (перифитоне) на глубине 0 м встречено 3 вида Gastropoda с преобладанием как по численности, так и по биомассе *Tricolia pullus* Linnaeus, 1758. Проведено сравнение данных по брюхоногим моллюскам на песчано-галечных грунтах в августе 2016 г., июне и сентябре 2023 г. Всего отмечено 17 видов, в 2016 г. — 13 видов, в 2023 г. — 11, общих оказалось 7 (58 %). Также сравнили сведения по Gastropoda в данном и других исследованных здесь биотопах с аналогичными в других районах побережья Крыма. Проведено сравнение таксоцена Gastropoda между различными биотопами внутри бухты Ласпи. Выделено 5 групп различной трофической принадлежности.

**Ключевые слова:** Чёрное море, Крымский полуостров, Gastropoda, видовой состав, численность, биомасса, биотоп

### Введение

Прибрежные биотопы в целом наиболее подвержены антропогенной нагрузке со стороны суши. В частности, на берегах бухты Ласпи расположены рекреационные объекты. Также в её акватории находятся мидийные фермы. Бухта Ласпи расположена между мысом Айя и мысом Сарыч, в западной части Южного берега Крыма. Расстояние между мысами составляет 8 км, длина береговой линии — 12 км. Берег бухты представляет собой абразионный уступ высотой около 10–12 м, сложенный породами таврической серии. От уреза воды до небольших глубин (10 м) дно представлено валунами и глыбами (глыбовый бенч) с редкими участками песчаного дна. Акватория бухты характеризуется интенсивным водообменом с открытым морем и высокой аэрацией. Сгонно-нагонные явления, характерные для Южного берега Крыма, приводят к незначительным

\* Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Биоразнообразие как основа устойчивого функционирования морских экосистем, критерии и научные принципы его сохранения» (№ гос. регистрации 124022400148-4).



колебаниям солёности воды от 17,7 до 18,47 ‰ [Куфтаркова, Ковригина, Бобко, 1990; Нехоросhev, Усс, Шаляпин, 1990; Орехова, Овсяный, 2020]. Из-за открытости бухты для неё характерна активная гидродинамика. В прибрежных водах Крымского полуострова Gastropoda — одна из самых массовых групп (классов) макрозообентоса. Брюхоногих моллюсков ранее в бухте Ласпи хотя и исследовали, но на мягких субстратах, преимущественно на нескольких больших глубинах и достаточно давно — в 1983 и 1996 гг. [Петухов и др., 1991; Ревков, Николаенко, 2002]. Также была изучена сезонная динамика таксоцены Gastropoda в данной бухте, но на искусственных твёрдых субстратах и тоже достаточно давно, в 2002–2004 гг. [Макаров, 2005]. На рыхлых и галечниковых грунтах, расположенных на мелководье, проведена бентосная съёмка в августе 2016 г. Авторские данные по Gastropoda из неё ранее были включены в статью [Макаров, 2022]. Публикаций по брюхоногим моллюскам в эпифитоне макрофитов и на твёрдых естественных субстратах в бухте Ласпи не было, за исключением материалов конференции, куда автором включены сведения, полученные в июне 2023 г., по таксоцену Gastropoda на песчано-галечном грунте, в супралиторали и эпифитоне водорослей [Макаров, Современное состояние ... , 2024]. В данной статье содержатся данные (июнь и сентябрь 2023 г.) по таксоцену брюхоногих моллюсков на грунтах, валунно-скальном субстрате и в зарослях макрофитов.

Цель работы — исследовать современное (2023 г.) состояние таксоцены Gastropoda в некоторых биотопах бухты Ласпи, провести его сравнение с данными по брюхоногим моллюскам на рыхлых галечных грунтах в 2016 г., другими районами у побережья Крыма на аналогичных субстратах и между различными биотопами внутри бухты.

### Материалы и методы

Пробы отобраны в июне и сентябре 2023 г. с помощью ручного дночерпателя площадью 0,04 м<sup>2</sup> в двух повторностях на глубинах 0–7 м (рис. 1, 2).



Рис. 1. Район отбора проб



Рис. 2. Схема расположения бентосных разрезов

В этом биотопе отобрано 40 количественных проб на 20 станциях и 5 разрезах, выполненных примерно перпендикулярно берегу (рис. 2). Их фиксировали 4%-ным раствором нейтрализованного формалина вместе с остальной донной макрофауной. В лабораторных условиях отбирали Gastropoda, определяли их по [Тип моллюски ... , 1972; Чухчин, 1984] и сверяли в соответствии с Мировым реестром морских видов WoRMS [World Register ... ]. Считали количество экземпляров каждого вида, взвешивали на торсионных весах с точностью до 0,001 г. Численность и биомасса рассчитана на единицу площади дна ( $\text{м}^2$ ). Приведён доверительный интервал с уровнем значимости 0,05 для средней численности и средней биомассы [Холодов, 2016]. Подсчитана встречаемость (% станций), на которых встречен каждый вид: если вид встречен на более чем 50 % станций, он относится к руководящим, если на 25–50 % станций — к характерным, если менее чем на 25 % станций — к случайным [Воробьёв, 1949].

С макрофитов материал собран в июне и сентябре 2023 г. мешками из мельничного газа на глубинах 0,1–1 м. Отобрано 10 проб. Водоросли взвешивали на весах Sortorius с точностью до 0,1 г. Численность и биомасса эпифитона рассчитана на единицу веса водорослей (кг).

В обрастаниях естественных твёрдых субстратов в сентябре 2023 г. на глубине 0 м пробы собраны рамкой, обшитой мельничным газом, площадью  $0,04 \text{ м}^2$ . Взято 4 пробы. На валунах на участке супралиторали в июне и сентябре 2023 г. (расстояния 0–0,2; 0,2–0,4; 0,4–0,6 и 0,6–0,8 м выше уреза воды) также с помощью рамки площадью  $0,04 \text{ м}^2$  (6 проб) отобраны или только подсчитаны моллюски. Численность и биомасса (на валунах в супралиторали только численность) рассчитаны на  $\text{м}^2$ . Высоту раковины моллюска *M. neritoides* измеряли штангенциркулем. Трофическая принадлежность установлена по [Чухчин, 1984]. У поверхности воды и дна измерены температура воды ( $^{\circ}\text{C}$ ), солёность (‰) и pH. Проведено сравнение видового состава Gastropoda в 2023 г. с аналогичными данными 2016 г. с помощью индекса общности видов Чекановского — Сёрсенсена [Одум, 1986]:

$$i = \frac{2a}{b + c}, \quad (1)$$

где  $a$  — число общих видов,  $b$  и  $c$  — число видов в сравниваемых списках.

Для оценки выравниваемости видов в таксоцене Gastropoda на песчано-галечных грунтах построена кривая доминирования — разнообразия, где ось абсцисс — ранжированный ряд от наиболее многочисленного вида к наименее многочисленному, а ось ординат — накопленный процент численности видов [Whittaker, 1972].

## Результаты и обсуждение

На песчано-галечных субстратах в 2023 г. обнаружено 11 видов Gastropoda (табл. 1).

Таблица 1

Видовой состав, средняя численность (N, экз./м<sup>2</sup>), средняя биомасса (B, г/м<sup>2</sup>) и встречаемость (P, %) Gastropoda на рыхлых галечных грунтах в прибрежной акватории бухты Ласпи

| Вид                                             | N        | B             | P  |
|-------------------------------------------------|----------|---------------|----|
| <i>Bittium reticulatum</i> Da Costa, 1778       | 435      | 1,905         | 65 |
| <i>Caecum trachea</i> Montagu, 1803             | 1        | 0,001         | 5  |
| <i>Limapontia capitata</i> (O. F. Müller, 1774) | 9        | 0,009         | 15 |
| <i>Parthenina interstincta</i> (J. Adams, 1797) | 1        | 0,001         | 5  |
| <i>Rapana venosa</i> (Valenciennes, 1846)       | 6        | 0,003         | 10 |
| <i>Retusa truncatula</i> (Bruguière, 1792)      | 1        | 0,001         | 5  |
| <i>Steromphala divaricata</i> (Linnaeus, 1758)  | 4        | 0,04          | 15 |
| <i>Tricolia pullus</i> (Linnaeus, 1758)         | 8        | 0,31          | 20 |
| <i>Tritia neritea</i> (Linnaeus, 1758)          | 32       | 0,343         | 5  |
| <i>Tritia reticulata</i> (Linnaeus, 1758)       | 8        | 0,005         | 10 |
| <i>Tritia</i> sp.                               | 4        | 0,1           | 30 |
| <b>Всего</b>                                    | 509 ± 40 | 2,719 ± 0,175 |    |

По сравнению с другими районами Крыма это относительно невысокий показатель. Например, в бухте Круглая было отмечено 22 вида [Макаров, 2022]. Вероятно, это связано с высоким уровнем прибойности и частично — галечным субстратом в бухте Ласпи, что не очень благоприятно для обитания брюхоногих моллюсков.

Температура воды в районе отбора проб была в пределах 23,5–26,5 °С, солёность 18–18,4 ‰, pH 7,5.

Некоторые виды (*B. reticulatum* и *T. pullus*) являются эвритопными, брюхоногий моллюск *S. divaricata* больше предпочитает прибрежные скалы и камни, голожаберник *L. capitata* — заросли макрофитов (он впервые обнаружен в бухте Ласпи), *P. interstincta* тяготеет к твёрдым поверхностям, хотя нередко обитает и на мягких грунтах, но большинство встреченных здесь видов характерны для рыхлых субстратов [Чухчин, 1984; Макаров, 2022].

Средняя численность Gastropoda составила 509 ± 76 экз./м<sup>2</sup>. По сравнению с другими районами у побережья Крыма, в аналогичных биотопах это относительно невысокий показатель. Нижесредняя численность брюхоногих моллюсков была лишь в акваториях Каркинитского залива и Донузлава (164 и 165 экз./м<sup>2</sup> соответственно), а в бухтах Севастополя она выше, например, в бухте Казачья составила в среднем 2802 экз./м<sup>2</sup>, а в бухте Круглая достигала 3281 экз./м<sup>2</sup> [Макаров, 2022; Макаров, Фауна моллюсков ... , 2024]. По численности значительно (85 %) доминировал *B. reticulatum*. Это эврибионтный моллюск. Например, верхний предел температуры воды для его обитания достигает 30 °С, также он может переносить снижение солёности до 10–12 ‰ [Чухчин, 1984; Копий, Бондаренко, 2020]. *B. reticulatum* преобладал и в некоторых других бухтах [Макаров, 2022].

Виды по численности выравнены неравномерно (рис. 3).

Явно доминирует один вид, длина кривой относительно небольшая. В стрессовых ситуациях, независимо от того, вызваны ли они естественными причинами или антропогенным воздействием, кривая становится более вогнутой. Это может говорить о не очень благоприятных условиях для обитания брюхоногих моллюсков в данном биотопе.



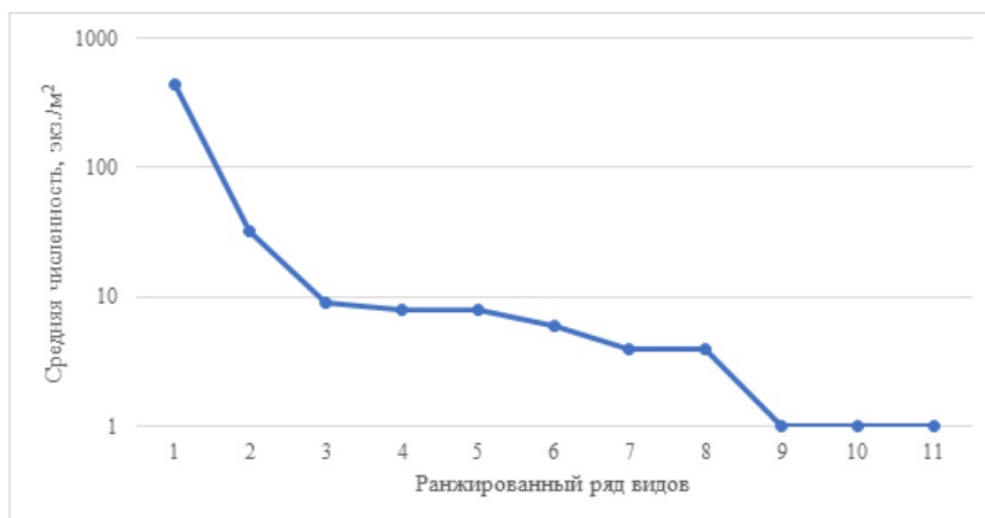


Рис. 3. Доминирование — разнообразие Gastropoda на рыхлых галечных грунтах в бухте Ласпи

Средняя биомасса Gastropoda была  $2,719 \pm 0,333$  г/м<sup>2</sup>. Это средний показатель для побережья Крыма [Макаров, 2022]. В июне отмечена низкая биомасса (0,723 г/м<sup>2</sup>) брюхоногих моллюсков в бухте Ласпи, что, возможно, связано с тем, что большинство видов размножаются в летний сезон [Чухчин, 1984]. Ранним летом преобладала молодь, в том числе рапаны, взрослые особи которой в целом достигают больших размеров и высокой биомассы. В сентябре биомасса повысилась как за счёт увеличения массы моллюсков, встреченных в июне, так и благодаря появлению относительно крупных тритий. В бухте Ласпи в целом по данному показателю доминировал *B. reticulatum* (70 %).

Встречаемость Gastropoda также невысокая. Только у одного вида, *B. reticulatum*, она была 65 % и поэтому он относился к руководящим видам. Один вид (точнее, *Tritia* sp.) принадлежал к характерным, остальные 9 — к случайным. Это свидетельствовало о мозаичности распределения брюхоногих моллюсков.

Если сравнить данные по видовому составу, численности и биомассе Gastropoda на рыхлых галечных грунтах в прибрежье за август 2016 г., июнь и сентябрь 2023 г., то всего было отмечено 17 видов, в 2016 г. встречено 13 видов, в 2023 г. — 11, также различались их состав, численность и биомасса (табл. 2).

Коэффициент общности видов Чекановского — Сёренсена относительно высокий и составил 0,58. Более половины видов (7) встречены как в 2016 г., так и в 2023 г. Средние численность и биомасса выше в 2023 г. преимущественно благодаря увеличению данных показателей у *B. reticulatum*. Большинство видов отмечены в небольших количествах, поэтому их присутствие или отсутствие в один из сравниваемых годов носит в определённой мере элемент случайности, а не говорит о том, что данный вид исчез или появился в бухте Ласпи, хотя и такое исключать нельзя.

По трофической принадлежности Gastropoda, отмеченные на рыхлых галечных грунтах в 2023 г., относятся к фитофагам и падальщикам (по 3 вида), полифагам и хищникам (по 2 вида), эктопаразитам (1 вид). Фитофаги питаются преимущественно диатомовым обростом [Чухчин, 1984]. На малых глубинах диатомеи, вероятно, развиваются в больших количествах благодаря хорошей освещённости. Фитофаги представлены видами *L. capitata*, *S. adriatica* и *T. pullus*. К падальщикам относятся тритии, к полифагам — *B. reticulatum* и *C. trachea*, к хищникам — *R. venosa* и *R. truncatula*. Эктопаразитом является представитель семейства Pyramidellidae — *P. interstincta*.

Таблица 2

Сравнительная характеристика видового состава, средней численности (N, экз./м<sup>2</sup>, над чертой) и средней биомассы (B, г/м<sup>2</sup>, под чертой) Gastropoda на рыхлых галечных грунтах в 2016 и 2023 гг.

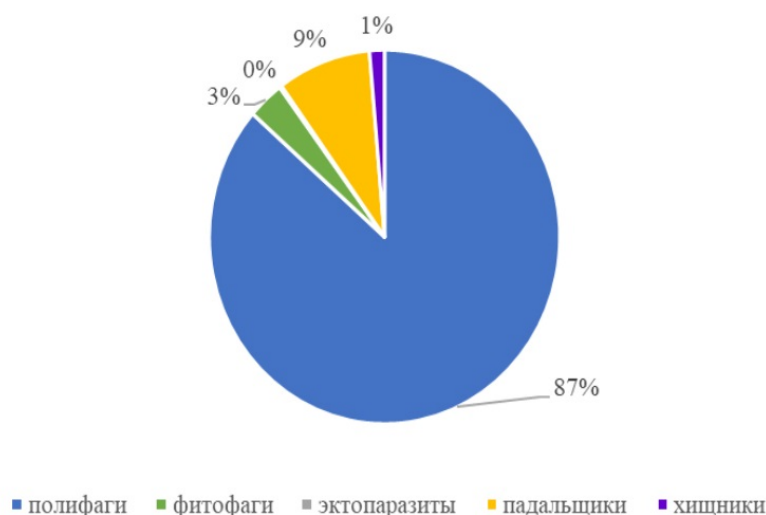
| Вид                                             | 2016                              | 2023                              |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| <i>Bela nebula</i> (Montagu, 1803)              | <u>1</u><br>0,001                 | <u>0</u><br>0                     |
| <i>Bittium reticulatum</i> (da Costa, 1778)     | <u>241</u><br>0,804               | <u>435</u><br>1,905               |
| <i>Ebala pointeli</i> (de Folin, 1868)          | <u>1</u><br>0,001                 | <u>0</u><br>0                     |
| <i>Caecum trachea</i> (Montagu, 1803)           | <u>0</u><br>0                     | <u>1</u><br>0,001                 |
| <i>Limapontia capitata</i> (O. F. Müller, 1774) | <u>0</u><br>0                     | <u>9</u><br>0,009                 |
| <i>Rapana venosa</i> (Valenciennes, 1846)       | <u>1</u><br>0,001                 | <u>6</u><br>0,003                 |
| <i>Steromphala divaricata</i> (Linnaeus, 1758)  | <u>1</u><br>0,056                 | <u>4</u><br>0,04                  |
| <i>Parthenina interstincta</i> (J. Adams, 1797) | <u>3</u><br>0,004                 | <u>1</u><br>0,001                 |
| <i>Retusa truncatula</i> (Bruguière, 1792)      | <u>0</u><br>0                     | <u>1</u><br>0,001                 |
| <i>R. variabilis</i> (Milaschewitsch, 1912)     | <u>2</u><br>0,003                 | <u>0</u><br>0                     |
| <i>Rissoa parva</i> (da Costa, 1778)            | <u>3</u><br>0,004                 | <u>0</u><br>0                     |
| <i>R. splendida</i> Eichwald, 1830              | <u>3</u><br>0,002                 | <u>0</u><br>0                     |
| <i>Tricolia pullus</i> (Linnaeus, 1758)         | <u>16</u><br>0,021                | <u>8</u><br>0,31                  |
| <i>Tritia neritea</i> (Linnaeus, 1758)          | <u>1</u><br>0,187                 | <u>32</u><br>0,343                |
| <i>T. reticulata</i> (Linnaeus, 1758)           | <u>0</u><br>0                     | <u>8</u><br>0,005                 |
| <i>Tritia</i> sp.                               | <u>24</u><br>0,586                | <u>4</u><br>0,1                   |
| <i>Turbonilla acuta</i> (Donovan, 1804)         | <u>2</u><br>0,002                 | <u>0</u><br>0                     |
| <b>Всего</b>                                    | <b><u>299</u></b><br><b>0,668</b> | <b><u>509</u></b><br><b>2,719</b> |

По численности значительно преобладали полифаги (рис. 4).

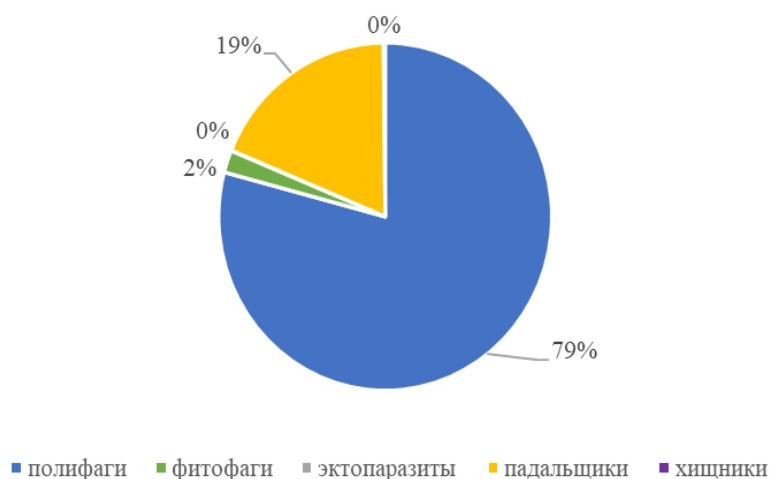
Такое преобладание полифагов обусловлено высокой численностью *B. reticulatum*, который хотя и питается больше эпифитными диатомовыми водорослями, но также потребляет в пищу и детрит [Чухчин, 1984].

По биомассе тоже доминировали полифаги, но в несколько меньшей степени (рис. 4).

Некоторое увеличение доли падальщиков по биомассе происходит из-за относительно крупных размеров и, соответственно, большой массы тритий. В целом достаточно большое количество трофических групп и преобладание полифагов может говорить о наличии разнообразной пищи для брюхоногих моллюсков в исследованном биотопе данного района.



**Рис. 4.** Соотношение трофических групп Gastropoda, населяющих песчано-галечные грунты верхней сублиторали бухты Ласпи по численности



**Рис. 5.** Соотношение трофических групп Gastropoda, населяющих песчано-галечные грунты верхней сублиторали бухты Ласпи по биомассе

В *эпифитоне макрофитов* различных родов (цистозир и ульвы) обнаружено 5 видов брюхоногих моллюсков: *B. reticulatum*, *R. splendida*, *R. parva*, *S. adriatica* и *T. pullus*. Из них в зарослях цистозир отмечены почти все эти виды (кроме *B. reticulatum*). Они были встречены в аналогичных биотопах и других районах побережья Крыма [Маккавеева, 1979; Макаров и др., 2020]. У цистозир кустистый, разветвлённый таллом высотой 10–120 см. Она обитает на камнях или скалах на глубинах от 0,5 до 10 м, редко до 30 м [Зинова, 1967; Калугина-Гутник, 1975; Milchakova, 2011]. Цистозира определена до рода, а поскольку обитающие в Чёрном море виды в современной номенклатуре относятся к разным родам (*Ericaria* и *Gongolaria*), то использовано прежнее название — *Cystoseira*. В 2023 г. средняя численность Gastropoda на цистозире в бухте Ласпи была невысокой и составила всего  $119 \pm 28$  экз./кг. Для сравнения: эти показатели в других районах Южного берега Крыма (побережье Симеиза и мыса Мартыян) были 1068 и 537 экз./кг соответственно. Средняя биомасса брюхоногих моллюсков в бухте Ласпи также была относительно низкой ( $3,856 \pm 0,924$  г/кг (рис. 6, 7). У побережья Симеиза она была 35,5 г/кг, в районе м. Мартыян — 13,1 г/кг. Однако следует отметить, что в этих районах пробы брали на глубинах 1, 3 и 5 м.



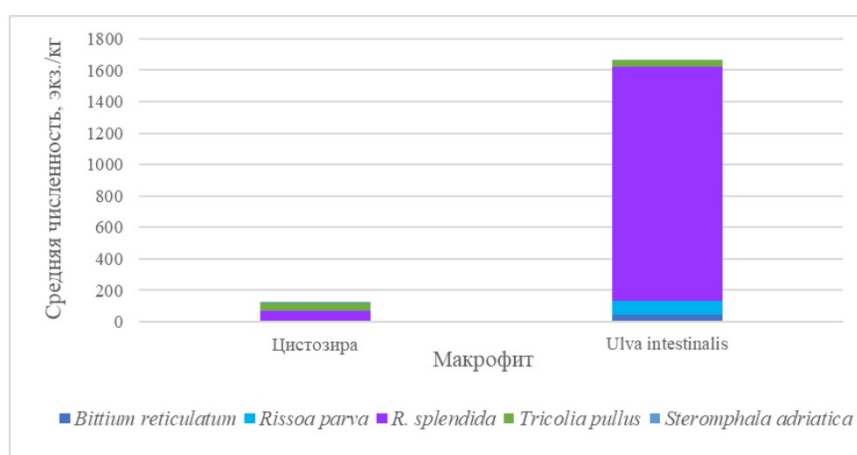


Рис. 6. Средняя численность Gastropoda в эпифитоне цистозеры и *U. intestinalis*

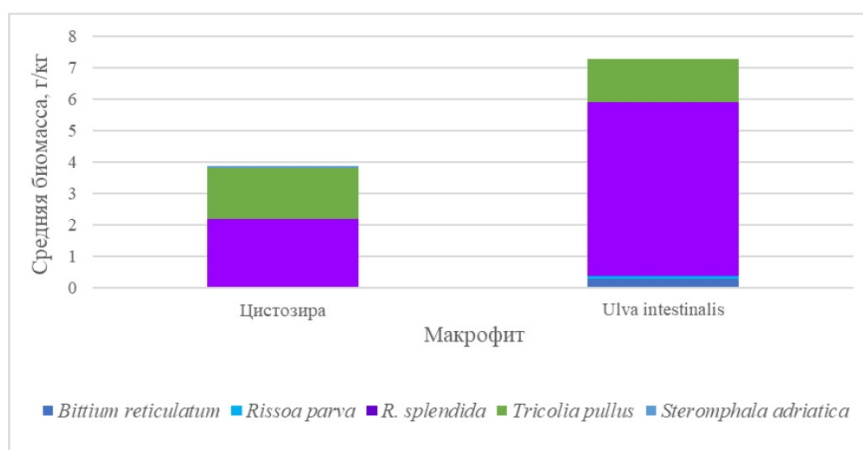


Рис. 7. Средняя биомасса Gastropoda в эпифитоне цистозеры и *U. intestinalis*

По численности и биомассе преобладала *R. splendida*. Она даже образовывала одноимённые сообщества в некоторых районах (например, у побережья Симеиза) на цистозере [Макаров и др., 2020]. У берегов Крыма *R. splendida* была многочисленной в 1950–1970-х годах, однако затем её обилие резко сократилось, хотя потом снова стало восстанавливаться [Маккавеева, 1979; Макаров, 2016].

В эпифитоне зелёных водорослей (Chlorophyta) *U. intestinalis* найдено 4 вида Gastropoda. Представители рода *Ulva* характеризуются трубчатым талломом, часто ветвящимся, сначала всегда прикреплённым к субстрату узким стебельком, позднее он может оторваться и свободно плавать. Обитает на твёрдых грунтах. В распреснённых и загрязнённых участках прибрежной зоны образует заросли [Milchakova, 2011; Зинова, 1967; Калугина-Гутник, 1975; Степаньян, 2020]. Следует отметить, что данный биотоп менее изучен по сравнению с эпифитомом цистозеры, а в бухте Ласпи он исследован впервые. Поскольку эти водоросли относительно лёгкие по своей массе, то средняя численность и средняя биомасса брюхоногих моллюсков, обитающих на них, высокая (1667 экз./кг и 7,265 г/кг соответственно). По этим показателям также доминировала *R. splendida* (1493 экз./кг и 5,54 г/кг соответственно). Это эвритопный вид, в том числе характерный для зарослей макрофитов [Маккавеева, 1979; Чухчин, 1984]. Он обнаружен

в зарослях зелёных водорослей, в том числе *U. Intestinalis*, и в некоторых других районах, но преобладал не везде [Макаров, Характеристика таксоцена ... , 2024]. Трофическая принадлежность (характеристика) Gastropoda в эпифитоне цистозире и ульвы весьма однообразна. Она включает только фитофагов (4 вида) и полифагов (1 вид). Фитофаги представлены моллюсками рода *Rissoa*, а также *S. adriatica* и *T. pullus*. Это растительноядные микрофаги, питающиеся преимущественно мелкими одноклеточными диатомовыми водорослями [Чухчин, 1984]. Поскольку на цистозире в бухте Ласпи не обнаружен полифаг биттиум, то на ней обитали лишь фитофаги. Представители этой группы явно доминировали на ульве по численности и биомассе. Можно отметить, что на макрофитах, по сравнению с фауной Gastropoda на рыхлых галечных грунтах, общими были 4 вида. Отличие состояло только в том, что в эпифитоне водорослей обнаружена *S. adriatica*, которой не было на песчано-галечном субстрате, где была встречена близкородственная *S. divaricata*.

Выше уреза воды, на валунах, найден один вид — *Melaraphe neritoides*. Это типичный обитатель супралиторали. Его средняя численность летом 2023 г. в бухте Ласпи составила 100 экз./м<sup>2</sup> (на расстоянии 0–0,2 м выше уреза воды численность была 75 экз./м<sup>2</sup>, а на расстоянии 0,2–0,4 м выше уреза воды — 125 экз./м<sup>2</sup>), осенью 2023 г. она в среднем составила 56 экз./м<sup>2</sup> (на расстоянии 0–0,2 м моллюски не обнаружены, а в вертикальных диапазонах 0,2–0,4; 0,4–0,6 и 0,6–0,8 м выше уреза воды численность оказалась одинаковой — по 75 экз./м<sup>2</sup>). В среднем (июнь — сентябрь) численность *M. neritoides* составила 71 экз./м<sup>2</sup>. Данный моллюск обитает в щелях, различных углублениях крупных камней (валунов) и скал выше уреза воды, в зоне заплеска, прячась от палящих солнечных лучей. Это эвритермный моллюск продолжительностью жизни более двух лет с периодом размножения с января по март. По типу питания он относится к фитофагам [Чухчин, 1984]. Данных по численности этого вида у побережья Крыма относительно мало. В 2016–2017 гг. средняя численность *M. neritoides* у побережья Алупки, расположенной примерно в 30 км к востоку от бухты Ласпи, составила 90 экз./м<sup>2</sup> в диапазоне 0–0,2 м выше уреза воды и 271 экз./м<sup>2</sup> в диапазоне 0,2–0,4 м выше уреза воды [Макаров, 2017]. Таким образом, численность данного вида в двух районах была выше в более высоких вертикальных диапазонах (выше 0,2 м), что, скорее всего, связано с меньшим уровнем прибойности в них.

Что касается размерной структуры *M. neritoides*, то в бухте Ласпи летом 2023 г. преобладали особи высотой раковины 3,1–4 мм, что составило 42 % (рис. 8).

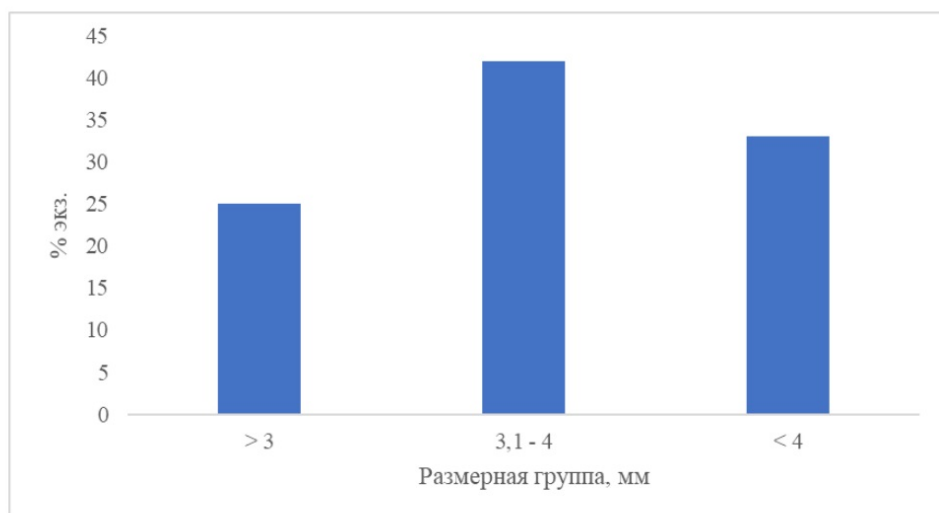


Рис. 8. Размерная структура поселения супралиторального моллюска *M. neritoides* в бухте Ласпи

Это относительно мелкие экземпляры. Для сравнения: у побережья Алупки в целом доминировали моллюски высотой раковины 5,1–6 мм (53 %), однако там исследования проводились во все сезоны [Макаров, 2017].

В обрастаниях естественных твёрдых (валунно-скальных) субстратов в сентябре 2023 г. отмечено 3 вида Gastropoda — *Brachystomia eulimoides* (Hanley, 1844), *R. splendida* и *T. pullus*. Моллюск *B. eulimoides* не встречен на других субстратах в 2023 г. Однако в бухте Ласпи он был обнаружен в 2002–2004 гг. на искусственных поверхностях [Макаров, 2005]. Данный вид предпочитает твёрдые субстраты как естественного, так и искусственного происхождения [Макаров, 2021]. Однако, поскольку местообитания *B. eulimoides* связаны с местообитаниями их хозяев (этот вид относится к семейству Pyramidellidae и является эктопаразитом [Гаевская, 2006]), данные моллюски встречаются на самых разных грунтах и глубинах [Копий, Бондаренко, 2020]. Так, в бухте Ласпи он был отмечен в июне 1996 г. на мягких грунтах [Ревков, Николаенко, 2002].

Средняя численность Gastropoda на твёрдых естественных поверхностях составила 942 экз./м<sup>2</sup>. Это выше, чем на рыхло-галечных грунтах, что, вероятно, связано с меньшей площадью поверхностей валунов и скал и поэтому на них больше концентрация гидробионтов, в том числе брюхоногих моллюсков. Преобладала *T. pullus* (в среднем 606 экз./м<sup>2</sup>, 64 %). Триколия достигала высокой численности и в других районах Крыма на аналогичных субстратах [Макаров, Ковалева, 2017]. В бухте Ласпи *T. pullus* доминировала на искусственных твёрдых субстратах в 2002–2004 гг. [Макаров, 2005]. Это единственный вид, встреченный во всех исследованных биотопах (рыхлый галечный, валунно-скальный и эпифитон макрофитов) данной бухты в 2023 г. Триколия чаще обитает в биотопе скал, на цистозире, филлофоре, ульве и даже на поверхности рапаны [Копий, Бондаренко, 2020]. На валунно-скальном субстрате в 2023 г. также весьма многочисленный (в среднем 329 экз./м<sup>2</sup>) моллюск *B. eulimoides*, а вот средняя численность *R. splendida* была всего 6 экз./м<sup>2</sup>.

Средняя биомасса брюхоногих моллюсков на твёрдых естественных субстратах тоже достаточно высокая (3,531 г/м<sup>2</sup>). Триколия по биомассе преобладала еще больше, чем по численности (3,175 г/м<sup>2</sup>, 90 %), поскольку особи *B. eulimoides* мелкие по размеру и их биомасса незначительна, а риссои хотя и немного крупнее, но малочисленны. У побережья Крыма *T. pullus* по данному показателю преобладала также на скалах Карадага [Макаров, 2023].

По трофике на исследованном субстрате представлены фитофаги (2 вида) и эктопаразит (1 вид). По численности и биомассе доминировали фитофаги.

## Выводы

В июне и сентябре 2023 г. в исследованных биотопах бухты Ласпи в целом обнаружено 14 видов Gastropoda. На рыхлых галечных субстратах в вертикальном диапазоне 0–7 м отмечено 11 видов брюхоногих моллюсков (*Limapontia capitata* впервые встречена в данной бухте). Их средняя численность составила  $509 \pm 76$  экз./м<sup>2</sup>, средняя биомасса была  $2,7 \pm 0,3$  г/м<sup>2</sup>. По сравнению с другими районами у побережья Крыма, это относительно невысокие показатели. Как по численности, так и по биомассе существенно преобладал *Bittium reticulatum*. В эпифитоне макрофитов на глубинах 0,1–1 м найдено 5 видов, по 4 вида — в зарослях цистозире и ульвы. Средняя численность брюхоногих моллюсков на цистозире  $119 \pm 28$  экз./кг, средняя биомасса  $3,9 \pm 0,9$  г/кг, на ульве —  $1667$  экз./кг и  $7,3$  г/кг соответственно. На обоих водорослях по данным показателям доминировала *Rissoa splendida*. Выше уреза воды, на валунах, найден один вид — типичный обитатель супралиторали *Melaraphe neritoides* со средней численностью 71 экз./м<sup>2</sup>. В обрастаниях естественных твёрдых субстратов (перифитоне) на глубине 0 м встречено 3 вида Gastropoda с преобладанием как по численности, так и по биомассе *Tricolia pullus*. Триколия — единственный вид,



встреченный во всех исследованных биотопах. В 2023 г. на рыхлых галечных грунтах, по сравнению с данными, полученными в 2016 г. на аналогичных субстратах, отмечено уменьшение количества видов, но увеличение в среднем численности и биомассы брюхоногих моллюсков. В трофической принадлежности в целом выделено 5 групп: падальщики, полифаги, фитофаги, хищники и эктопаразиты. В зависимости от биотопов преобладали различные группы.

**Благодарности.** Автор выражает благодарность сотрудникам отдела экологии бентоса ФИЦ ИнБЮМ, принимавшим участие в экспедициях 2023 г., в которых собран данный материал: кандидату биологических наук, старшему научному сотруднику Ковалёвой М. А., кандидату биологических наук, старшему научному сотруднику Копий В. Г., кандидату биологических наук, старшему научному сотруднику Тимофееву В.А., ведущему инженеру аспиранту Литвину Ю. И., ведущему инженеру Трофимову С. А.

### Список литературы

1. Воробьёв В. П. Бентос Азовского моря. – Симферополь : Крымиздат, 1949. – 195 с. – (Труды АзЧерНИРО ; вып. 13).
2. Гаевская А. В. Паразиты, болезни и вредители мидий (*Mytilus*, *Mytilidae*). II. Моллюски (*Mollusca*). – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. – 100 с.
3. Зинова А. Д. Определитель зеленых, бурых и красных водорослей южных морей СССР. – Москва ; Ленинград : Наука, 1967. – 398 с.
4. Калугина-Гутник А. А. Фитобентос Черного моря. – Киев : Наук. думка, 1975. – 248 с.
5. Копий В. Г., Бондаренко Л. В. Атлас обитателей псевдолиторали Азово-Черноморского побережья Крыма / Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского. – Севастополь : ФИЦ ИнБЮМ, 2020. – 120 с.
6. Куфтаркова Е. А., Ковригина Н. П., Бобко Н. И. Оценка гидрохимических условий бухты Ласпи – района культивирования мидий // Экология моря. – 1990. – Вып. 36. – С. 1–7. – <https://www.elibrary.ru/xwprjn>
7. Макаров М. В. Долговременные изменения численности и биомассы *Mollusca* в зарослях *Cystoseira* sp. в бухте Круглая (Юго-Западный Крым, Чёрное море) // Озёрные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды : материалы V Междунар. науч. конф., 12–17 сент. 2016 г., Минск – Нарочь / Белорус. гос. ун-т. – Минск : Издат. центр БГУ, 2016. – С. 235–236.
8. Макаров М. В. Сезонная динамика численности *Melaraphe neritoides* Linnaeus, 1758 (*Mollusca: Gastropoda*) у побережья Крыма (Чёрное море) // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, 4–6 дек. 2017 г. / Вят. гос. ун-т, Ин-т биологии Коми НЦ УРО РАН. – Киров : ВятГУ, 2017. – Кн. 2. – С. 314–316.
9. Макаров М. В. Сезонная динамика *Gastropoda* на жестких искусственных рифах (молах) в акватории Севастополя (Черное море) // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка. Сер.: Біологія. – 2005. – Вип. 4. – С. 146–148. – <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/12070>
10. Макаров М. В. Современное состояние и межгодовые изменения в таксоцоне *Gastropoda* прибрежной акватории бухты Ласпи (Чёрное море, Крым) // Вторая Международная научная конференция, посвященная ... малакологического общества «Моллюски: биология, экология, эволюция и формирование малакофаун», 17–20 сентября 2024 г., Архангельск / редкол.: М. В. Винарский [и др.]. – Архангельск : КИРА, 2024. – С. 112–116. – <https://www.elibrary.ru/rnitft>

11. Макаров М. В. Таксоцен Gastropoda мелководья на рыхлых грунтах в некоторых районах у побережья Крыма (Чёрное море) // Водные биоресурсы и среда обитания. – 2022. – Т. 5, № 2. – С. 54–67. – [https://doi.org/10.47921/2619-1024\\_2022\\_5\\_2\\_54](https://doi.org/10.47921/2619-1024_2022_5_2_54)
12. Макаров М. В. Фауна моллюсков в некоторых биотопах вершинной части бухты Круглая (Чёрное море) // Актуальные проблемы экологии и природопользования : сб. тр. XXV Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 26–28 апр. 2024 г. / М-во науки и высш. образования РФ, Рос. ун-т дружбы народов им. Патриса Лумумбы. – Москва : РУДН, 2024. – Т. 1. – С. 133–136. – <https://www.elibrary.ru/mjwyef>
13. Макаров М. В. Характеристика таксоцена Mollusca в зарослях водорослей Chlorophyta вдоль побережья Крыма // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2024. – Т. 10, № 2. – С. 116–127. – <https://doi.org/10.29039/2413-1725-2024-10-2-116-127>
14. Макаров М. В. Экологические особенности Pyramidellidae (Gastropoda, Mollusca) у побережий Крыма и Кавказа // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2021. – Т. 7, № 4. – С. 79–91. – <https://www.elibrary.ru/deufcu>
15. Макаров М. В. Gastropoda на скалах в акватории Карадагского природного заповедника (Крым, Чёрное море) // Научные записки природного заповедника «Мыс Мартьян». – 2023. – № 14. – С. 334–338. – <https://doi.org/10.25684/2413-3019-2023-14-334-338>
16. Макаров М. В., Ковалева М. А. Структура таксоцена Mollusca на естественных твёрдых субстратах в акваториях охраняемых районов Крыма // Экосистемы. – 2017. – Вып. 9. – С. 20–24. – <https://www.elibrary.ru/zxqxl>
17. Макаров М. В., Копий В. Г., Бондаренко Л. В., Витер Т. В., Подзорова Д. В. Макрозообентос зарослей водорослей *Cystoseira crinita* Duby, 1830 у берегов Крыма и Кавказа (Чёрное море) // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2020. – Т. 6, № 3. – С. 97–116. – <https://doi.org/10.37279/2413-1725-2020-6-3-97-116>
18. Маккавеева Е. Б. Беспозвоночные зарослей макрофитов Чёрного моря. – Киев : Наук. думка, 1979. – 229 с. – <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/5666>
19. Нехорошев М. В., Усс Ю. А., Шаляпин В. К. Химический состав биоотложений и скорость их выделения культивируемыми мидиями // Экология моря. – 1990. – Вып. 36. – С. 37–41. – <https://www.elibrary.ru/xwprod>
20. Одум Ю. Экология. Т. 2. – Москва : Мир, 1986. – 376 с.
21. Орехова Н. А., Овсяный Е. И. Органический углерод и гранулометрический состав литоральных донных отложений бухты Ласпи (Чёрное море) // Морской гидрофизический журнал. – 2020. – Т. 36, № 3. – С. 287–299. – <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2020-3-287-299>
22. Петухов Ю. М., Шаловенков Н. Н., Ревков Н. К., Петров А. Н. Анализ пространственного распределения макрозообентоса в черноморской бухте Ласпи с использованием методов многомерной статистики // Океанология. – 1991. – Т. 31, № 5. – С. 780–786. – <https://www.elibrary.ru/zoigal>
23. Ревков Н. К., Николаенко Т. В. Биоразнообразие зообентоса прибрежной зоны Южного берега Крыма (район бухты Ласпи) // Биология моря. – 2002. – Т. 28, № 3. – С. 170–180. – <https://www.elibrary.ru/ziutdj>
24. Степаньян О. В. Макрофитобентос Чёрного и Азовского морей: флористические и экологические аспекты (обзор) // Наука Юга России. – 2020. – Т. 16, № 4. – С. 26–38. <https://doi.org/10.7868/S25000640200404>
25. Тип моллюски – Mollusca // Определитель фауны Чёрного и Азовского морей / Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского ; сост.: З. И. Баранова [и др.]. – Киев : Наук. думка, 1972. – Т. 3. – С. 60–249.

26. Холодов В. И. Планирование экспериментов в гидробиологических исследованиях. – Симферополь : Н.Орианда. 2016. – 196 с. – <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/5524>
27. Чухчин В. Д. Экология брюхоногих моллюсков Чёрного моря. – Киев : Наук. думка, 1984. – 176 с. – <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/5646>
28. Milchakova N. A. Marine plants of the Black Sea : an illustrated field guide. – Sevastopol : Digit Print Press, 2011. – 144 p.
29. Whittaker R. H. Evolution and measurement of species diversity // Taxon. – 1972. – Vol. 21, iss. 2/3. – P. 213–251. – <http://www.jstor.org/stable/1218190>
30. World Register of Marine Species. – [site]. – URL: <http://www.marinespecies.org>. (дата обращения 06.02.25).

## GASTROPODA TAXOCENE IN VARIOUS BIOTOPES OF THE LASPI BAY COAST (THE BLACK SEA, SOUTHERN COAST OF CRIMEA)

Makarov M. V.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,  
e-mail: [makarov@ibss-ras.ru](mailto:makarov@ibss-ras.ru)

**Abstract:** The species composition, abundance, biomass, and trophic characteristic of Gastropoda in different biotopes of the coastal part of the water area (including the supralithoral) of Laspi Bay in June and September 2023 were studied. A total of 14 species of gastropods have been recorded. 11 species of Gastropoda were found on soft (send) and pebbly substrates. The average abundance was  $509 \pm 76$  ind./m<sup>2</sup>, the average biomass was  $2.719 \pm 0.333$  g/m<sup>2</sup>. According to these indicators, *Bittium reticulatum* Da Costa, 1778, significantly dominated. 5 species of Gastropoda were found in *Cystoseira* algae thickets (average abundance  $119 \pm 28$  ind./kg, average biomass  $3.856 \pm 0.924$  g/kg with a predominance of *Rissoa splendida* Eichwald, 1830), 4 species of gastropods were also noted in the epiphyton *Ulva intestinalis* Linnaeus, 1753, and also with a dominance of *R. splendida*. The average abundance of Gastropoda on *Ulva* was 1667 ind./kg, and the average biomass was 7.265 g/kg. A typical inhabitant of the splash zone, *Melaraphe neritoides* Linnaeus, 1758, with an average abundance of 71 ind./m<sup>2</sup>, was found on boulders in the supralithoral. The size structure of this species was shown. In the foulings of natural hard substrates (periphyton) at a depth of 0 m, 3 species of Gastropoda were found with a predominance in both abundance and biomass of *Tricolia pullus* Linnaeus, 1758. Data on Gastropoda on send-pebble substrates in August 2016 and June, September 2023 were compared. There were 17 species in total, 13 in 2016, 11 in 2023, and 7 (58 %) common. Data on the fauna of gastropods in this and other biotopes studied here were also compared with similar ones in other areas of the Crimean coast. The Gastropoda taxocene was compared between different biotopes inside the Laspi Bay. According to trophic characteristics, 5 groups were identified.

**Keywords:** the Black Sea, Crimean Peninsula, Gastropoda, species composition, abundance, biomass, biotope

### Сведения об авторе

Макаров  
Михаил  
Валериевич

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация, [makarov@ibss-ras.ru](mailto:makarov@ibss-ras.ru)

Поступила в редакцию 18.02.2025 г.  
Принята к публикации 02.04.2025 г.



## ОЦЕНКА ВКЛАДА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ В СУММАРНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Нартов А. С., Кожевникова В. В., Кузнецова В. В., Мельникова А. В.

*Государственный университет по землеустройству, г. Москва, Российская Федерация,*

*e-mail: [nartovalexander@gmail.com](mailto:nartovalexander@gmail.com)*

**Аннотация:** В статье рассматривается актуальная экологическая проблема оценки вкладов конкретных подвижных источников выбросов загрязняющих веществ в общее загрязнение атмосферного воздуха городских территорий. Для решения данного вопроса предлагается применять вероятностный подход, основанный на расчёте условной вероятности с использованием формулы Байеса. Приведены результаты использования предложенной методики для оценки вклада транспортных средств различных категорий (L — мотоциклы и мопеды, M1 — легковые автомобили, M2 — автобусы (кроме электробусов) и N — грузовые автомобили) в суммарное загрязнение атмосферного воздуха двух территорий г. Москвы (участок Басманного района и участок района Коньково) и двух городских территорий Московской области (участки г. Балашиха и г. Раменское) тремя токсичными летучими неорганическими оксидами (диоксид азота NO<sub>2</sub>, диоксид серы SO<sub>2</sub>, угарный газ CO), а также твёрдыми частицами PM<sub>2.5</sub> и PM<sub>10</sub> в час пик (период с 17 до 18 часов).

**Ключевые слова:** качество атмосферного воздуха, автотранспорт, летучие неорганические оксиды, твёрдые частицы, вероятность, формула Байеса

### Введение

Количество единиц автотранспорта в мире ежегодно растёт. Несмотря на появление автомобилей и автобусов, работающих на электродвигателе, их доля в общем автопарке пока всё ещё незначительна. По данным аналитического агентства «Автостат», на 1 июля 2024 года только легковых автомобилей в Москве было зарегистрировано 4,06 млн, тогда как электробусов примерно 2300, т. е. порядка 0,05 % даже без учёта грузовых автомобилей и автобусов на горючем топливе [Тимерханов, 2024].

При этом автотранспорт, функционирующий на основе углеводородного топлива, остаётся одним из наиболее значимых факторов негативного воздействия на экологическое состояние атмосферного воздуха. Автотранспорт является источником таких токсичных выбросов, как угарный газ (оксид углерода (II)), оксиды азота и серы, тяжёлые металлы (ртуть, медь, никель и др.) [Stojić et al., 2023], полициклические ароматические углеводороды, относящиеся к канцерогенным веществам и стойким органическим загрязнителям [Хаустов, Редина, 2024], включая супертоксикант бенз(а)пирен, относящийся к 1 классу опасности и являющийся токсичным даже при крайне малых концентрациях (в атмосферном воздухе его среднесуточная ПДК<sub>с.с.</sub> составляет 10<sup>-6</sup> мг/м<sup>3</sup>) [СанПиН 1.2.3685-21], и другие загрязняющие вещества.

Дорожная пыль увеличивает риск онкологических заболеваний у людей, проживающих в городах-миллионниках. В состав дорожной пыли входит большое количество различных компонентов, таких как фрагменты резины от автомобильных шин, дорожного покрытия, мелкий мусор и остатки антигололёдных реагентов, которые становятся ядрами конденсации. На них в свою очередь легко оседают и закрепляются более опасные загрязняющие вещества — тяжёлые металлы и полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Среди ПАУ наиболее опасным

считается бенз(а)пирен, поскольку его попадание в организм человека увеличивает риск развития рака. Бенз(а)пирен выделяется в атмосферу при неполном сгорании топлива в автомобильных двигателях. Пыль легко поднимается с поверхности автомобильных дорог и тротуаров в воздух, с которым при дыхании, проглатывании и через контакт с кожей попадает в организм человека и животных [Абдурахманова, 2015; Нартов, 2022].

Во многих странах регулярно проводят исследования по загрязнению автотранспортом городских территорий. Исследования играют важную роль в понимании масштаба, характера проблемы, разработке эффективных решений, обмене опытом и международном сотрудничестве.

Так, в работе специалистов из Норвежского института исследований воздуха и Технического университета Мюнхена рассматриваются экологические последствия роста Варшавы и моделируются последствия развития города для выбросов загрязняющих веществ из-за дорожного движения и уровней загрязнения. Исследование представляет комплексную оценку множества факторов, связанных с городским развитием Варшавы и дорожной сети. Для оценки последствий различных потенциальных вариантов будущего роста Варшавы авторами были разработаны два сценария: продолжающееся разрастание и альтернативный компактный городской дизайн. Эти сценарии оценивались на основе выбросов углекислого газа и оксидов азота путём применения цепочки моделирования к каждому сценарию.

Результаты показывают, что разрастание городов привело к снижению доступности общественного транспорта, социальных услуг и природных территорий. Перераспределение рабочих мест по пригородным районам способствует зависимости от автомобиля и увеличивает расстояние и время в пути до места работы. В случае сценария компактного городского дизайна центральный деловой район обеспечивает незначительное увеличение доли видов транспорта и нагрузки на дорожную сеть. Сужение дороги снижает долю автомобилей в общем транспортном потоке и нагрузку в центральных городских районах, но увеличивает среднее время в пути.

Компактное развитие города снижает выбросы углекислого газа, в то время как разрастание города приводит к его увеличению. Среди проанализированных стратегий вмешательства в дорожную сеть наиболее эффективным оказывается повышение привлекательности общественного транспорта в обоих сценариях развития города [Lopez-Aparicio et al., 2025].

Загрязнение автотранспортом также может нанести удар по экономике страны, так как увеличиваются расходы на здравоохранение, восстановление окружающей среды, снижается производительность труда, наносится ущерб сельскому хозяйству.

Так, согласно исследованию [Li et al., 2024], в Австралии транспортный сектор является основным источником выбросов парниковых газов и других загрязняющих веществ в атмосферу, которые увеличивают риск развития заболеваний у человека. Стоимость статистической жизни рассчитывалась с использованием уточнённого подхода к человеческому капиталу, который учитывал смертность, а также потерю производительности на работе, дома и в обществе. Общее экономическое бремя объединяло расходы на случаи смертности и заболеваемости.

Результаты анализа показали, что в 2018 году, исходя из предположений этого исследования, транспортные выбросы стали причиной преждевременных смертей, случаев госпитализации из-за сердечно-сосудистых заболеваний, приступов астмы и эпизодов хронической обструктивной болезни лёгких, что привело к общему экономическому бремени в размере 910 млн австралийских долларов. К сожалению, в указанной статье не приведена информация о том, какие именно категории транспортных средств вносят наибольший вклад в эмиссию того или иного загрязнителя в атмосферный воздух, хотя такие сведения могли бы в значительной мере способствовать выявлению корреляционных зависимостей между эксплуатационными характеристиками ТС и частотой различных заболеваний.

В Китае Пекин, Шанхай, Сиань и Чэнду входят в число наиболее экономически развитых мегаполисов, значительно загрязнённых твердыми частицами. В исследовании [Mao et al., 2024] предлагается новый метод измерения сезонных концентраций твёрдых частиц  $PM_{2.5}$  с высоким пространственным разрешением и анализируются значения этого показателя в четырёх китайских мегаполисах в течение 2022 года. Метод, предложенный авторами, позволяет оценивать локальные, а не глобальные значения параметров. Предложенная ими модель использовалась для расчёта источников, переноса, химического преобразования и траекторий диффузии загрязняющих воздух веществ. Также была использована потенциальная функция вклада источника загрязнения, которая идентифицировала потенциальные источники твёрдых частиц  $PM_{2.5}$ .

Результаты показали последовательную сезонную закономерность с самыми высокими концентрациями частиц  $PM_{2.5}$  в зимнее время года и с самыми низкими — летом. Сезонные колебания данного показателя являются результатом сложного взаимодействия между метеорологическими условиями и антропогенной деятельностью. Зимой главными влияющими факторами в северных городах являются увеличение вклада ТЭЦ в общую эмиссию частиц и температурные инверсии. Летние месяцы характеризуются повышенным количеством осадков и усилением ветрового режима, что способствует рассеиванию загрязняющих веществ и, следовательно, приводит к снижению концентрации твёрдых частиц в воздухе.

В работе [Golubić, Vogrin, 2013] показано, что загрязнение воздуха в городе Загребе происходит из-за ненадлежащих условий эксплуатации двигателей, относительно низких скоростей автотранспорта (ниже 80 км/ч), большого количества транспортных средств, включая значительную долю легковых автомобилей, высокого процента неисправных транспортных средств, низкого качества топлива. Авторами показано, что наибольшая проблема заключается в загрязнении оксидами азота и углерода, приземным озоном, а содержание в воздухе твёрдых частиц  $PM_{10}$  три года подряд превышало допустимые значения.

В данной статье показано, что актуальной для городских территорий остаётся проблема поиска и внедрения модели организации дорожного движения, которая значительно снизит загрязнение окружающей среды. Исследователи предложили ряд мер по решению данной проблемы: увеличение пропускной способности перекрёстков, изменение инфраструктуры, связанной с парковочными местами, развитие общественного транспорта, внедрение экотестов при технических осмотрах. Стоит подчеркнуть, что авторы отмечают необходимость модернизации систем мониторинга городского воздуха, которые на момент исследования не позволяли достаточно точно измерить эмиссию загрязняющих веществ от автотранспорта.

В более современном исследовании хорватских учёных [Kranjčić et al., 2022] также отмечается значительная эмиссия загрязняющих веществ личными и большегрузными автомобилями. Авторы предлагают снижать количество выбросов и воздействие этих токсикантов на окружающую среду посредством частичного ограничения движения в центральной части города, использование более экологически чистого транспорта, создание «зелёной» инфраструктуры. Результатом внедрения последней из перечисленных мер стало создание цифровой базы данных «Кадастр зелени», разработанной с применением машинного обучения. В итоге была отмечена проблема отсутствия растений, которые могли бы поглощать загрязнители вокруг дорог, и выявлены суточные и сезонные тенденции поглощения деревьями загрязняющих веществ из атмосферы.

Авторы статьи [Pryciński et al., 2024] отмечают, что в 2022 году в Польше количество зарегистрированных автомобилей превысило численность населения страны. В статье основное внимание уделяется вопросу измерения выбросов загрязняющих веществ в воздух легковыми автомобилями, поскольку эта категория автотранспорта составляет самую многочисленную категорию транспортных средств в Польше. Кроме того, в данной статье представлены сравнение



результатов измерений фактических выбросов загрязняющих веществ в воздух для различных типов легковых автомобилей и разработка модели выбросов загрязняющих веществ в воздух в зависимости от скорости и ускорения тестируемого автомобиля.

Было показано, что минимальное количество выбросов угарного газа, углекислого газа наблюдается у гибридных автомобилей, а наиболее высокое — у автомобилей, работающих на дизельном топливе. В то же время выбросы оксидов азота максимальны также у дизельных ТС, а минимальны у автомобилей на бензиновом двигателе. На основе полученных данных авторы разработали модель выбросов загрязняющих воздух веществ и предложили метод, позволяющий определить зависимость количества выбросов отдельных типов загрязняющих веществ в зависимости от изменения ускорения и скорости автомобиля.

Группой китайских исследователей [Guo et al., 2024] была проведена оценка вклада различных транспортных средств в загрязнение атмосферного воздуха в городе Чанчжоу (Китай) с учётом множества факторов, включая тип ТС, пройденное расстояние, виды используемого топлива и др. Авторами также отмечается значительное превышение ТС малой грузоподъёмности в общем потоке (90,8 % легковых автомобилей). Исследователи пришли к выводу, что основные источники эмиссии токсикантов в атмосферу различаются для разных загрязняющих веществ.

Подобные исследования проводятся и российскими учёными. Так, в статье [Каргаполов, Рафаилова, 2019] приведены результаты расчётов загрязнения атмосферного воздуха автотранспортом на участке пересечения МКАД и Каширского шоссе в вечернее время. При этом проводилось измерение интенсивности движения различных категорий ТС, а выбросы загрязняющих веществ (9 показателей) были рассчитаны на основании мощности двигателя (объёма цилиндров), характеристик автомобиля, особенностей используемого топлива с учётом режима работы двигателя и его экологической характеристики, соответствующей классу Евро. Авторы статьи отмечают превышение ПДК по угарному газу, диоксиду серы и азота, а также по некоторым другим показателям, обусловленное напряжённым трафиком и значительным количеством легковых автомобилей, а также грузовых автомобилей, не соответствующих высоким стандартам Евро. Отметим, что в данной работе не проводился анализ по соотношению степени эмиссии загрязняющих веществ автотранспортом различных категорий.

В работе [Горшкова, Макарова, 2014] определялась интенсивность потока ТС различных категорий на крупных автомагистралях Центрального района Санкт-Петербурга и были рассчитаны массы углеводородов, оксидов азота, серы и углерода в отработанных газах. Показано, что основными источниками этих токсикантов является легковой автотранспорт, а выбросы сажи прежде всего связаны с эксплуатацией автобусов и, в несколько меньшей степени, грузовых автомобилей. Однако основной акцент в указанной статье сделан на определение концентраций и рассеивание загрязняющих веществ от автотранспортных средств, нежели на установление их источников с детализацией по категориям ТС.

В работе [Огорелкина, Аксёнов, 2023] проведены расчёты удельных пробеговых выбросов ряда загрязняющих веществ от различных категорий автотранспорта на примере города Ярославля. Авторами также отмечается значительный вклад легковых автомобилей в выбросы угарного газа. Но ни в этой, ни в других упомянутых выше статьях, как российских, так и зарубежных, не приводится оценка относительного содержания загрязняющих веществ в выхлопах автотранспорта той или иной категории.

Заметим, что СанПиН 1.2.3685-21 устанавливает предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений для более 700 соединений [СанПиН 1.2.3685-21]. Однако практически все вышеперечисленные токсиканты присутствуют также в выбросах стационарных источников загрязнения, таких как промышленные предприятия, мусоросжигательные заводы, теплоэлектроцентрали и т.п.

Определение происхождения загрязняющих веществ, обнаруженных в атмосферном воздухе при проведении экологического мониторинга, позволяет приблизиться к решению сразу двух задач:

- лучше понять особенности миграции загрязняющих веществ в атмосфере;
- более эффективно осуществлять экологический надзор и контроль.

Однозначно установить происхождение того или иного загрязняющего вещества зачастую оказывается весьма затруднительно, особенно, если речь идёт о промышленных зонах или урбанизированных территориях, которые пересекаются крупными магистралями с интенсивным автомобильным движением. В атмосферном воздухе таких территорий смешиваются загрязнения из различных многочисленных источников, как стационарных, так и подвижных; на миграцию загрязнителей в окружающей среде влияет множество антропогенных и природных факторов, включая общее количество транспортных средств (ТС), их возраст, изношенность, ширину и протяжённость дорог, качество используемого топлива, частоту и длительность образования заторов в часы пик, климатические и физико-географические показатели атмосферы [Дементьев и др., 2020; Каргаполов, Рафаилова, 2019].

Тем не менее возможно осуществить оценку вероятности происхождения того или иного токсиканта из конкретного источника выбросов, что также можно интерпретировать как оценку вклада определённого источника загрязнения атмосферного воздуха в суммарную концентрацию загрязняющего вещества, измеренную в процессе экологического мониторинга.

## Материал и методы

Для проведения экспериментальных исследований были выбраны два района г. Москвы (Басманный и Коньково) и центральные участки двух городов Московской области (Балашиха и Раменское). Выбор обусловлен тем, что данные территории пересекают крупные автомагистрали с интенсивным движением, но в то же время каждый из этих районов имеет свои географические, инфраструктурные и прочие особенности, что позволяет сравнить полученные результаты между собой и сделать предположения о причинах выявленных различий. Географическое положение исследованных районов показано на рисунке 1, а характеристики районов, использованные для расчётов, — в таблице 1 [Подрубный, Широкова, 2022; Регионы России ... , 2024; Алексеев, Хорев, 2004; Характеристика Басманного района].

Город Раменское расположен в юго-восточной части Московской области, примерно в 40 км от Москвы. Город Балашиха расположен в восточной части Московской области, примерно в 25 км от Москвы. Оба города находятся в центре Восточно-Европейской равнины, на Мещерской низменности с преимущественно равнинным рельефом. Климат умеренно-континентальный, с выраженной сезонностью и достаточным увлажнением. Территории городов являются водосборным бассейном Москвы-реки. В Раменском функционирует ОАО «Раменский приборостроительный завод», занимающийся выпуском навигационных приборов для авиации. В Балашихе более развитый НПК, крупнейшим предприятием является ОАО «Балашихинский литейно-механический завод», специализирующийся на выпуске авиационных колёс и агрегатов управления тормозными системами для самолетов [Экологический атлас ... , 2013; Подрубный, Широкова, 2022; Регионы России ... , 2024].

Район Коньково расположен в юго-западной части Москвы и входит в состав Юго-Западного административного округа столицы. Территория района находится в центральной части Тепло-станской возвышенности и представлена равнинным рельефом с незначительными колебаниями высот. Климат района умеренно-континентальный, с холодной зимой, относительно тёплым летом и умеренным уровнем осадков. Гидрографическая сеть района включает малые водоёмы

(Коньковские пруды), а также подземные и поверхностные водотоки, функционирующие в рамках городской инфраструктуры. Промышленные предприятия на территории района отсутствуют [Алексеев, Хорев, 2004].

Басманный район расположен в северо-восточной части центра Москвы и входит в состав Центрального административного округа. Климат района умеренно-континентальный, аналогичен климату Москвы в целом. Гидрографическая сеть представлена двумя открытыми водными объектами: Чистыми прудами, рекой Яузой и её притоками, а также подземными реками. Басманный район отличается высоким уровнем городской застройки [Характеристика Басманного района].



Рис. 1. Географическое положение исследованных районов Москвы и Московской области

Таблица 1

Площади исследованных районов и характеристики проходящих по ним автодорог, использованные для расчётов

| Характеристика                                                 | Басманный район | Коньково | г. Балашиха | г. Раменское |
|----------------------------------------------------------------|-----------------|----------|-------------|--------------|
| Общая площадь исследованной территории, км <sup>2</sup>        | 8,37            | 7,18     | 81,30       | 29,73        |
| Площадь автодорог на исследованной территории, км <sup>2</sup> | 0,0511          | 0,0832   | 0,5287      | 0,0926       |
| Протяжённость исследованных автодорог, км                      | 2,39            | 5,70     | 9,63        | 5,03         |



Измерения проводились в ноябре — декабре 2024 года, еженедельно, каждый четверг (8 измерений каждого из пяти показателей в каждом районе), в период с 17 до 18 часов, поскольку этот промежуток времени является частью пикового временного интервала, в течение которого наблюдается не только увеличение интенсивности транспортного потока, но и образование заторов. Для расчётов вероятностей использовались усреднённые значения. Данные обрабатывались с помощью онлайн-сервиса Allcalc [[Среднее квадратичное отклонение](#)] и с применением инструментов Excel.

Образование автомобильных пробок приводит к увеличению эмиссии основных компонентов выхлопных газов, что значительно влияет на среднегодовую эмиссию этих токсикантов. При этом максимальный скачок концентраций загрязняющих веществ ожидаемо наблюдается в центральных городских районах [[Дементьев и др., 2020](#)].

Данные о среднесуточных концентрациях диоксида азота и диоксида серы (ppb) были взяты с сайта Мосэкомониторинга [[Карта качества воздуха](#)]. В качестве погрешности измерений были приняты величины среднеквадратичного отклонения, рассчитанного на основании 8 значений, зафиксированных в течение указанного выше периода.

Данные о концентрации остальных трёх загрязнителей получены в ходе собственных измерений с использованием двух портативных анализаторов качества воздуха (газоанализатор «ОС-905» для измерения концентрации угарного газа (ppb) и счётчик частиц «НТ-9600» для измерения концентрации твёрдых частиц  $PM_{2.5}$  и  $PM_{10}$  ( $мкг/м^3$ ), погрешности измерений составили 3 и 20 % в соответствии с паспортами данных средств измерения). Информация о содержании вышеуказанных токсикантов фиксировалась в режиме реального времени на дисплее соответствующего средства измерения (прямые измерения согласно ФЗ «Об обеспечении единства измерений» [[Об обеспечении ... , 2008](#)]). Затем производился пересчёт концентраций в  $кг/км^3$  для приведения всех единиц измерения к единому виду.

Параллельно с каждым измерением содержания загрязняющих веществ проводилась оценка интенсивности потока транспортных средств с разделением на три категории: М1 — легковые автомобили, М2 — автобусы (автобусы на электродвигателе не учитывались) и N — грузовые автомобили. Подсчёты проводились посредством визуального наблюдения и регистрации в соответствии с п. 4.2 ГОСТ 32965-2014, за исключением длительности регистрации, которая была сокращена до 1 ч [[ГОСТ 32965-2014](#)].

Результаты расчётов по транспортным средствам категории L (мотоциклы и мопеды) не учитывались, поскольку доля мототранспорта в общем потоке на всех четырёх территориях не превышала 0,1 %, а с учётом заметно меньшей мощности двигателей, по сравнению с двигателями ТС других категорий, вероятность обнаружить загрязняющее вещество, поступившее в атмосферу от мототранспорта, по нашим оценкам, составляла порядка  $10^{-8}$ .

Таким образом, можно выделить следующие ограничения проведённых исследований:

1) физико-географические — измерения проводились в районах г. Москвы и Московской области, то есть на территориях с весьма близкими физико-географическими характеристиками, включая климат, который является одним из наиболее важных факторов трансформации и миграции загрязняющих веществ в атмосфере. На территориях с иными климатическими условиями поведение частиц загрязняющих веществ в атмосферном воздухе может быть иным, что будет влиять на соотношение их концентраций [[Guo et al., 2024](#)];

2) инфраструктурные — исследованные территории достаточно заметно различаются по составу инфраструктуры (Центральный и Юго-Западный районы г. Москвы и два города Московской области), но, разумеется, не исчерпывают всех возможных вариантов взаимного расположения автодорог, застройки, коммуникаций и т. д. При этом перечисленные факторы могут оказывать существенное влияние на процессы переноса вещества в атмосфере, что достаточно

подробно рассмотрено в работе [Литвинова, Азаров, 2021]. Данные о пространственном распределении автотранспортных выбросов, представленные в указанной статье, частично учитывались нами при проведении расчётов;

3) временные — сбор данных осуществлялся на протяжении двух месяцев в осенне-зимний период, по одному часу в неделю. Однако интенсивность потоков автотранспорта заметно меняется в течение суток и различается в разные сезоны года [Дементьев и др., 2020; Каргаполов, Рафаилова, 2019; Шепелев и др., 2022], из чего следует, что вклад автотранспорта в суммарное загрязнение атмосферного воздуха также не будет постоянным;

4) ограничения по объектам исследования — для апробации предлагаемой методики нами были выбраны пять загрязняющих веществ из множества токсикантов, вырабатываемых автомобильными двигателями, и три наиболее распространённые категории ТС. В ходе исследований не учитывалось влияние на качество атмосферного воздуха электротранспорта и стационарных источников загрязнения;

5) метрологические — точность проведённых исследований ограничена метрологическими возможностями методик и приборов, использованных при проведении работы. Результаты измерения концентраций загрязняющих веществ и оценки интенсивности потока автомобилей (таблица 2) представлены с учётом погрешности измерений или среднеквадратичного отклонения (СКО) для 8 параллельных измерений.

Для оценки вклада потенциального источника загрязнения  $U$  в суммарную концентрацию загрязняющего вещества  $T$  предлагается использовать одну из классических формул расчёта условной вероятности — теорему Байеса, которая в общем виде выражается нижеприведённой формулой:

$$P_A(B) = \frac{P(B) \cdot P_B(A)}{P(A)}, \quad (1)$$

где  $P_A(B)$  — апостериорная (условная) вероятность события  $B$  (вероятность того, что событие  $B$  произошло по причине  $A$ );  $P_B(A)$  — апостериорная (условная) вероятность события  $A$  (вероятность того, что событие  $A$  является следствием события  $B$ );  $P(B)$  — априорная (безусловная) вероятность события  $B$ ;  $P(A)$  — априорная (безусловная) вероятность события  $A$  [Пытьев, Шишмарёв, 2023].

С целью решения поставленной задачи компонентам формулы (1) были приписаны следующие смысловые значения:

1) апостериорная (условная) вероятность  $P_A(B) \rightarrow P_T(U)$  — вероятность того, что загрязнение атмосферного воздуха токсическим веществом  $T$  обусловлено воздействием конкретного источника  $U$  (определённого вида автотранспорта);

2) апостериорная (условная) вероятность  $P_B(A) \rightarrow P_U(T)$  — вероятность того, что в выбросах источника  $U$  будет обнаружено вещество  $T$ . Согласно геометрической интерпретации вероятности, данную величину можно понимать как вероятность обнаружения частицы загрязнителя  $T$ , имеющего происхождение из источника выбросов  $U$ , в исследуемом объёме атмосферного воздуха. Очевидно, что чем больше таких частиц будет находиться в рассматриваемом объёме, то есть чем выше будет их концентрация, тем пропорционально выше будет значение  $P_U(T)$ . Поэтому в формуле Байеса второй множитель в числителе можно заменить значением концентрации  $C_U$  загрязняющего вещества  $T$ , которое ожидается обнаружить в анализируемом объёме воздуха из-за воздействия источника  $U$ . Для расчёта этой величины были использованы данные

о выбросах исследованных загрязнителей различными видами автотранспорта на единицу пройденного пути. Исходя из этих данных, величина  $P_U(T) = C_U$  рассчитывалась по формуле (2):

$$P_U(T) = C_U = \frac{w \cdot l}{V}, \quad (2)$$

где  $w$  — выработка загрязняющего вещества данным видом автотранспорта, кг/км;  
 $l$  — протяжённость исследуемой трассы, проходящей по территории с площадью  $S$ , км;  
 $V$  — исследованный объём атмосферы, км<sup>3</sup>.

Объём  $V$  рассчитывался через площадь исследованной территории  $S$  и с учётом того, что основная масса загрязняющих веществ от автотранспорта накапливается на высоте до 30 метров (0,03 км) [Литвинова, Азаров, 2021];

3) априорная (безусловная) вероятность  $P(A) \rightarrow P(T)$  — вероятность обнаружить загрязняющее вещество  $T$  в случайной точке исследуемого объёма атмосферного воздуха. Численно соответствует измеренной концентрации  $C_T$  данного загрязнителя в атмосферном воздухе без учёта его происхождения из определённого источника выбросов (рассуждения аналогичны выводам, приведённым в п. 2);

4) априорная (безусловная) вероятность  $P(B) \rightarrow P(U)$  — вероятность обнаружить данный источник загрязнения (автотранспорт определённой категории) на исследуемой территории. Эта величина рассчитывалась как произведение доли транспортных средств определённой категории в общем потоке на долю площади автодорог от общей площади исследованной территории:

$$P(U) = \frac{n_U}{n} \cdot \frac{S_U}{S}, \quad (3)$$

где  $n$  — общий поток транспортных средств на данной территории, авт/ч;  $n_U$  — поток транспортных средств определённой категории, авт/ч;  $S$  — общая площадь исследованной территории, км<sup>2</sup>;  $S_U$  — площадь автодорог на данной территории, км<sup>2</sup>.

Таким образом, с учётом вышеуказанных преобразований итоговая формула, использованная для расчёта вкладов транспортных средств различных категорий в суммарное загрязнение атмосферного воздуха, выглядит следующим образом:

$$P_T(U) = \frac{n_U}{n} \cdot \frac{S_U}{S} \cdot \frac{w \cdot l}{V} \cdot \frac{1}{C_T}, \quad (4)$$

где  $n$  — общий поток транспортных средств на данной территории, авт/ч;  $n_U$  — поток транспортных средств определённой категории, авт/ч;  $S$  — общая площадь исследованной территории, км<sup>2</sup>;  $S_U$  — площадь автодорог на данной территории, км<sup>2</sup>;  $w$  — выработка загрязняющего вещества данным видом автотранспорта, кг/км;  $l$  — протяжённость исследуемой трассы, км;  $V$  — исследованный объём атмосферы, км<sup>3</sup>;  $C_T$  — концентрация загрязняющего вещества  $T$ , зарегистрированная на данной территории, кг/км<sup>3</sup>.



## Результаты и обсуждение

Использованные для расчётов данные по среднему потоку автотранспорта в исследованных районах и по уровням загрязнения атмосферного воздуха, полученные на основе 8 параллельных еженедельных измерений с учётом погрешности измерения (в соответствии с паспортами на средства измерения для угарного газа и твёрдых частиц и среднеквадратичного отклонения для других показателей), приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты измерений потока автотранспорта и уровня загрязнения воздуха в исследованных районах за ноябрь — декабрь 2024 г.

| Показатель                                                          | Басманный район | Коньково      | г. Балашиха  | г. Раменское  |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------|--------------|---------------|
| <i>Средний поток транспортных средств, авт/ч</i>                    |                 |               |              |               |
| Легковые автомобили                                                 | 5600,0 ± 100,6  | 3295,0 ± 27,1 | 948,0 ± 19,7 | 1476,0 ± 30,6 |
| Автобусы                                                            | 20,6 ± 1,0      | 23,4 ± 1,2    | 116,6 ± 5,5  | 45,4 ± 2,1    |
| Грузовые автомобили                                                 | 214,6 ± 12,3    | 147,4 ± 6,4   | 22,6 ± 1,0   | 38,6 ± 3,5    |
| <i>Средние концентрации загрязняющих веществ, кг/км<sup>3</sup></i> |                 |               |              |               |
| Диоксид азота                                                       | 47,2 ± 9,0      | 41,1 ± 11,9   | 39,6 ± 8,6   | 13,3 ± 4,9    |
| Диоксид серы                                                        | 60,0 ± 9,1      | 11,4 ± 4,3    | 20,0 ± 5,1   | 8,6 ± 2,2     |
| Угарный газ                                                         | 243,8 ± 7,3     | 262,9 ± 7,9   | 307,9 ± 9,2  | 230,0 ± 6,9   |
| Твёрдые частицы PM <sub>2,5</sub>                                   | 23,7 ± 4,7      | 18,0 ± 3,6    | 16,0 ± 3,2   | 12,3 ± 2,5    |
| Твёрдые частицы PM <sub>10</sub>                                    | 28,7 ± 5,7      | 25,0 ± 5,0    | 18,0 ± 3,6   | 17,7 ± 3,5    |

Сведения об удельной выработке загрязняющих веществ транспортными средствами различных категорий были взяты из предшествующих научных публикаций, связанных с автотранспортом [Огорелкина, Аксёнов, 2023; Пепина, Созонтова, 2017; Шепелев и др., 2022].

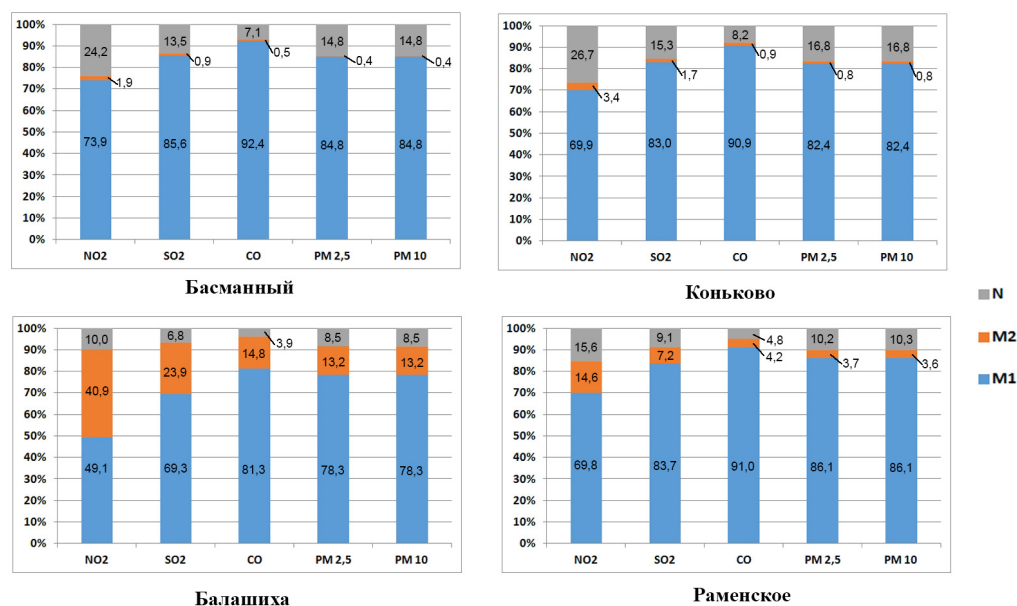
Поскольку вероятности  $P_T(U)$ , рассчитанные по формуле (4), для всех упомянутых загрязняющих веществ по каждой из трёх категорий транспортных средств не превысили 0,004, для наглядности полученные результаты были переведены в проценты, соответствующие:

- вкладу каждой категории ТС в поступление того или иного токсиканта в атмосферу на определённой территории (рисунок 2);
- доле каждого из пяти загрязняющих веществ в выбросах определённой категории ТС на данной территории (рисунок 3).

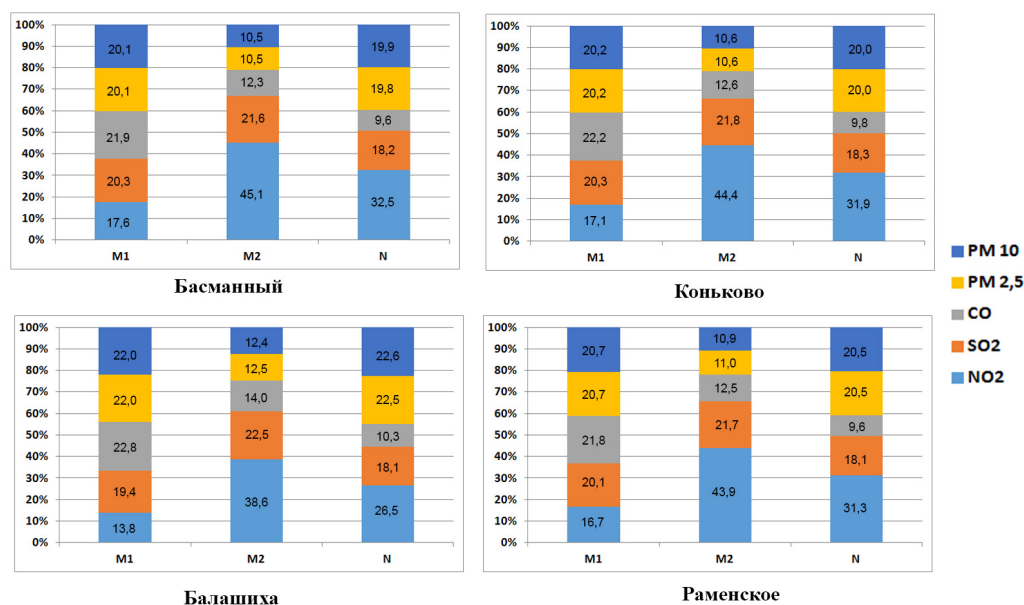
Ниже приведён анализ полученных данных и их сравнение с результатами подобных исследований российских и зарубежных учёных (таблица 3 и рисунок 4). Для проведения сравнительного анализа использовались усреднённые данные по четырём исследованным районам.

Из диаграмм, приведённых на рисунке 2, видно, что основной вклад в загрязнение атмосферного воздуха городских территорий по всем пяти показателям вносят легковые автомобили. Очевидно, это связано с тем, что их доля в общем потоке значительно превышает доли транспортных средств других категорий, достигая 95 % на трёх исследованных территориях (кроме г. Балашихи, где доля легковых автомобилей снижается до 87 % за счёт увеличения доли автобусов (см. табл. 2)).

Вклад грузовых автомобилей заметно меньше, но всё же остаётся существенным. Это объясняется тем, что их двигатели вырабатывают в несколько раз большее количество загрязняющих веществ, чем двигатели легковых автомобилей при перемещении на одинаковое расстояние. Весьма близкие соотношения вкладов ТС различных категорий в общее загрязнение атмосферного воздуха приведены в работе исследователей Андижанского машиностроительного института (Республика Узбекистан) [Каримходжаев, Нумонов, 2020], что видно из таблицы 3 и рисунка 4 (очень сильная корреляционная зависимость для суммы выбросов, коэффициент детерминации  $R^2 = 0,9972$ ).



**Рис. 2.** Относительный вклад транспортных средств разных категорий в загрязнение атмосферного воздуха отдельных районов г. Москвы и городов Московской области (по данным за ноябрь — декабрь 2024 г.)



**Рис. 3.** Относительный вклад загрязняющих веществ в выбросах транспортных средств разных категорий (по данным за ноябрь — декабрь 2024 г.)

Вклад автобусов (категория M2, без учёта автобусов с электродвигателями) в загрязнение атмосферы г. Москвы не превышает 1 % (кроме диоксида азота в Басманном районе и диоксида серы в Конькове), но заметно возрастает на городских территориях Московской области. Вероятно, это связано с тем, что на территории Москвы для общественных перевозок используется преимущественно электротранспорт, принимающий на себя основную нагрузку пассажиропотока, как железнодорожный (метрополитен, наземные поезда московских центральных диметров (МЦД) и др.), так и электробусы, более активное внедрение которых наблюдается в столице, нежели в городах Московской области.

Таблица 3

Сравнение полученных результатов с результатами исследований российских и зарубежных учёных

| Сравниваемый показатель                                                      |                                   | Нартов,<br>Кожевникова,<br>Кузнецова,<br>Мельникова* | Горшкова,<br>Макарова,<br>2014 | Каримходжаев,<br>Нумонов,<br>2020 | Guo et al.,<br>2024 |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| Вклад легковых автомобилей в эмиссию ЗВ                                      | угарный газ                       | 88,7                                                 | 80,0                           | –                                 | 74,3                |
|                                                                              | оксиды азота                      | 65,7                                                 | 73,1                           | –                                 | 11,1                |
|                                                                              | твёрдые частицы PM <sub>2,5</sub> | 82,9                                                 | –                              | –                                 | 29,4                |
|                                                                              | сумма ЗВ                          | 80,2                                                 | 76,5                           | 83,0                              | 38,3                |
| Вклад грузовых автомобилей в эмиссию ЗВ                                      | угарный газ                       | 6,0                                                  | 11,0                           | –                                 | 17,7                |
|                                                                              | оксиды азота                      | 19,1                                                 | 8,9                            | –                                 | 66,2                |
|                                                                              | твёрдые частицы PM <sub>2,5</sub> | 12,6                                                 | –                              | –                                 | 45,0                |
|                                                                              | сумма ЗВ                          | 12,3                                                 | 10,0                           | 12,0                              | 43,0                |
| Вклад автобусов в эмиссию ЗВ                                                 | угарный газ                       | 5,3                                                  | 9,0                            | –                                 | 5,1                 |
|                                                                              | оксиды азота                      | 15,2                                                 | 18,0                           | –                                 | 22,1                |
|                                                                              | твёрдые частицы PM <sub>2,5</sub> | 4,5                                                  | –                              | –                                 | 24,1                |
|                                                                              | сумма ЗВ                          | 7,5                                                  | 13,5                           | 2,2                               | 17,1                |
| Доля СО в выхлопах (дизельные двигатели / бензиновые двигатели)              |                                   | 0,51                                                 | –                              | 0,10 – 0,50                       | –                   |
| Доля NO <sub>x</sub> в выхлопах (дизельные двигатели / бензиновые двигатели) |                                   | 2,26                                                 | –                              | –                                 | –                   |
| PM <sub>2,5</sub> /PM <sub>10</sub>                                          |                                   | 1,0                                                  | –                              | –                                 | ≈ 1,0               |

\* неопубликованные данные

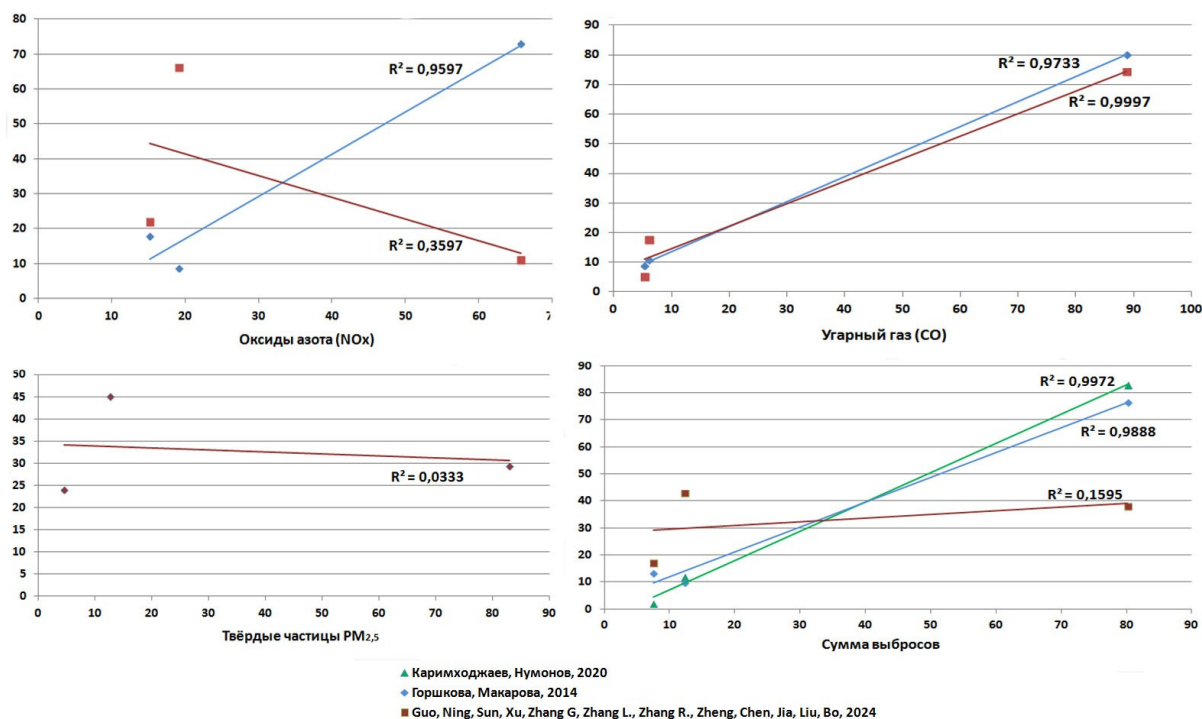
Из диаграмм, показанных на рисунке 3, следует, что легковые автомобили вносят примерно равные вклады в эмиссию каждого из пяти проанализированных загрязнителей (иногда с небольшим перевесом в сторону угарного газа). Вероятность обнаружить в атмосферном воздухе угарный газ, выброшенный грузовыми автомобилями, заметно меньше, а вероятность выброса диоксида азота, образовавшегося в результате эксплуатации грузовых автомобилей, во всех случаях выше, чем вероятность обнаружить этот газ, выработанный легковыми автомобилями.

Скорее всего, это связано с особенностями химического состава дизельного топлива, которое чаще всего используется для работы двигателей грузовых автомобилей, а также с теми процессами, которые происходят при его сжигании. Есть сведения, что увеличение содержания полиароматических углеводородов в автотранспортных выбросах влечёт повышение в них концентрации оксидов азота, что более характерно для двигателей, работающих на дизельном топливе [Каримходжаев, Нумонов, 2020; Nelson, Tibbett, Day, 2008].

Кроме того, в транспортных средствах, использующих дизельное топливо, устанавливаются каталитические нейтрализаторы с сажевым фильтром, а в автомобилях с бензиновыми двигателями — керамические или металлические катализаторы. Благодаря действию последних преобразование углеводородов до оксидов углерода, а восстановление оксидов азота до молекулярного азота у легковых автомобилей происходит более эффективно, что также объясняет наблюдающуюся на диаграммах разницу в вероятностном распределении загрязняющих веществ в выхлопных газах транспортных средств различных категорий [Яшник, 2022].

На группе диаграмм, представленных на рисунке 3, отчётливо видно, что доля диоксида азота в выхлопных газах автобусов значительно превышает долю этого токсиканта в выбросах транспортных средств двух других категорий, достигая 45 % от общей суммы вероятностей выбросов автобусов из пяти представленных на диаграмме загрязнителей. Можно предположить, что такая тенденция связана с частым торможением автобусов на остановках, в результате чего и повышается выработка двигателями диоксида азота [Пепина, Созонтова, 2017].





**Рис. 4.** Корреляции между полученными результатами и результатами исследований российских и зарубежных учёных

На обеих группах диаграмм видно, что доля твёрдых частиц  $PM_{10}$  во всех случаях практически равна доле более крупных твёрдых частиц  $PM_{2.5}$ . В соответствии с данными [Guo et al., 2021] можно предположить, что наблюдаемые закономерности связаны с тем, что в районах, где проводились измерения, регистрируются твёрдые частицы, попадающие в атмосферный воздух с выхлопными газами, а не благодаря таким процессам, как износ шин, тормозной системы, дорожного полотна и т. п., поскольку в остальных перечисленных случаях выработка двигателями  $PM_{10}$  в несколько раз выше выработки  $PM_{2.5}$ .

Приведённые результаты, как правило, хорошо согласуются с выводами, к которым пришли авторы предшествующих исследований [Горшкова, Макарова, 2014; Гуртяк, 2016; Каргаполов, Рафаилова, 2019]. Например, все перечисленные авторы отмечают ключевой вклад легковых автомобилей в эмиссию угарного газа, в некоторых из перечисленных работ отмечается больший вклад грузовых ТС в эмиссию оксидов азота по сравнению с выбросами угарного газа и т. д.

Отдельно отметим, что сравнение полученных нами результатов показало отсутствие значимых корреляций с данными по вкладу различных категорий автотранспорта в эмиссию оксидов азота, твёрдых частиц и суммарных выбросов, представленными в работе [Guo et al., 2024]. Но рассчитанные нами значения эмиссии оксида углерода хорошо согласуются с аналогичными данными в вышеуказанном исследовании (коэффициент детерминации  $R^2 = 0,9997$ , см. рис. 4).

В указанной работе китайских учёных отмечается значительно больший вклад грузовых автомобилей в эмиссию твёрдых частиц и оксидов азота. На наш взгляд, обнаруженные расхождения могут быть связаны с тем, что в этой статье приведены значения, усреднённые по годовому периоду, в то время как наши измерения проводились в осенне-зимний период. Также, вероятно, оказывают влияние различные климатические условия, различия в инфраструктуре, учёт разных влияющих факторов и др. В случае с оксидами азота немаловажен и тот факт, что в исследовании китайских учёных расчёты велись для группы соединений  $NO_x$ , то есть учитывалась суммарная

концентрация оксидов азота, а в нашем случае фиксировалась концентрация только одного вещества из этой группы — диоксида азота. Наконец, отметим, что в приведённых выводах сравниваются результаты расчётов не одноимённых величин, а массовые доли загрязнителей в общем количестве автомобильных выбросов [Guo et al., 2024] и отношения вероятностей того, что транспортное средство определённой категории будет являться источником выбросов того или иного загрязнителя (в нашей работе).

### Выводы

Загрязнение атмосферного воздуха городских территорий и последующая миграция и трансформация токсикантов является крайне сложным процессом, зависящим от множества природных и антропогенных факторов. Достоверное установление источников выбросов загрязняющих веществ и определение их вклада в суммарное загрязнение атмосферы на данный момент представляется практически неосуществимой задачей.

Однако проведённые исследования показали, что применение модифицированной формулы Байеса, одной из основных формул (теорем) теории вероятности, для оценки вклада различных категорий транспортных средств в суммарное загрязнение воздуха урбанизированных территорий позволяет продвинуться в решении обозначенной проблемы. Предложенная нами формула даёт важные, непротиворечивые и практически значимые результаты. По многим показателям они согласуются с данными предыдущих исследований по данной теме, как российских, так и зарубежных авторов, и являются логически обоснованными. Частичные расхождения результатов с данными предшествующих исследований объясняются рядом факторов, среди которых можно отметить разные временные промежутки, в течение которых проводились исследования, различные климатические, инфраструктурные и иные условия проведения измерений, учёт разных влияющих факторов, погрешности и неопределённости измерений параметров, использованных для расчётов, и другие ограничения исследования, указанные в разделе «Материалы и методы».

Наибольший вклад в суммарное загрязнение атмосферного воздуха по пяти проанализированным показателям вносит легковой автотранспорт, что связано с большой численностью транспортных средств этой категории на городских автодорогах.

Вклад автобусов в загрязнение атмосферы наиболее выражен в городах Московской области, нежели в самой Москве. Это обусловлено более интенсивным использованием электротранспорта в Москве, чем в городах Подмосковья.

Доля угарного газа, по нашим оценкам, больше в выхлопах легковых автомобилей, а доля диоксида азота — в выбросах грузовых автомобилей и автобусов. Причинами такого распределения может быть использование разных каталитических нейтрализаторов в бензиновых и дизельных двигателях. Кроме того, значительная часть диоксида азота вырабатывается автобусами при частых остановках, что также наблюдается на диаграммах, построенных по результатам наших исследований.

Твёрдые частицы  $PM_{2.5}$  и  $PM_{10}$  во всех проанализированных случаях вносят примерно равные вклады в суммарное загрязнение, что косвенно указывает на их происхождение непосредственно из выхлопных газов.

В дальнейшем планируется осуществить ряд новых измерений с целью более детальной статистической обработки данных. Это позволит определить границы применимости теоремы Байеса для оценки вклада различных источников в суммарное загрязнение атмосферного воздуха, усовершенствовать предложенный способ, в том числе путём включения в расчёты дополнительных параметров. При подтверждении достоверности данных, получаемых с помощью

модифицированной формулы Байеса (например, путём сравнения результатов оценки с аналогичными результатами, полученными независимым методом), разработанный способ может быть использован в качестве вспомогательного инструмента для управления потоками автотранспорта, особенно на городских территориях с интенсивным автомобильным движением.

Кроме того, при достаточной достоверности данных предлагаемый способ может служить источником информации для расчёта эколого-экономических, гигиенических и других смежных показателей.

### Список литературы

1. Абдурахманова Э. Г. Влияние выхлопных газов на организм человека // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2015. – № 1-1. – С. 53–57. – <https://elibrary.ru/vlcdrp>
2. Алексеев П. Д., Хорев Д. Ю. Коньково. История и современность. Природные условия // Москва. Юго-Запад. Тёплый стан : [сайт]. – 2004. – URL: [https://testan.narod.ru/knigi\\_moskow/konkov/0201.htm](https://testan.narod.ru/knigi_moskow/konkov/0201.htm) (дата обращения: 01.02.2025).
3. Горикова И. А., Макарова О. Ю. Анализ загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспортных средств в условиях сложившейся градостроительной ситуации в центральной части Санкт-Петербурга // Наукovedение : интернет-журн. – 2014. – № 4. – Ст. 08TVN414. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/08TVN414.pdf>
4. ГОСТ 32965-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Методы учёта интенсивности движения транспортного потока : введен впервые : дата введения 2016-09-08 // Кодекс : электрон. фонд правовых и нормат.-техн. документов : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200132267> (дата обращения: 01.02.2025).
5. Гуртяк М. А. Анализ загрязнения атмосферного воздуха автомобильно-дорожным комплексом // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2016. – № 9-1. – С. 32–35. – <https://elibrary.ru/wmjryz>
6. Дементьев А. А., Цурган А. М., Чудинин Н. В., Соловьёв Д. А. Оценка динамики загрязнения атмосферного воздуха городского центра выбросами автомобильного транспорта картографическим методом // Системы контроля окружающей среды. – 2020. – № 3. – С. 81–89. – <https://doi.org/10.33075/2220-5861-2020-3-81-89>
7. Каргаполов Н. В., Рафаилова А. Л. Оценка загрязнения атмосферного воздуха автомобильным транспортом в московском регионе // International Journal of Professional Science. – 2019. – № 10. – С. 52–65. – <https://elibrary.ru/obtguj>
8. Каримходжаев Н., Нумонов М. З. Сравнительный анализ токсичности выхлопных газов автомобилей и пути ее снижения // Universum: технические науки : электрон. науч. журн. – 2020. – № 11. – С. 12–18. – <https://doi.org/10.32743/UniTech.2020.80.11-2.12-18>
9. Карта качества воздуха // Мос-экомониторинг : [сайт]. – URL: <https://mosecom.mos.ru/karta/> (дата обращения: 26.12.2024).
10. Литвинова Н. А., Азаров В. Н. О закономерностях вертикального распределения концентраций загрязнителей в атмосферном воздухе от автотранспорта жилых зон территорий города // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2021. – № 4. – С. 113–129. – <https://doi.org/10.21869/2311-1518-2021-36-4-113-129>
11. Нартов А. С. Геоэкологическая оценка состояния промышленно-урбанизированных территорий на основе индикативного метода определения воздействия ПАУ (на примере предприятий Москвы и Московской области) : дис. ... канд. геогр. наук : 1.6.21 (25.00.36). – Москва, 2022. – 160 с.



12. Об обеспечении единства измерений : Федер. Закон № 102-ФЗ от 26.06.2008 // Законодательство Российской Федерации : [сайт]. – URL: <https://fzrf.su/zakon/ob-obespechenii-edinstva-izmerenij-102-fz/> (дата обращения: 01.02.2025).
13. Огорелкина А. Ф., Аксёнов В. А. Исследования загрязнения воздуха автотранспортом в городе Ярославле // Проблемы безопасности российского общества. – 2023. – № 2. – С. 35–42. – <https://elibrary.ru/ucbkni>
14. Пепина Л. А., Созонтова А. Н. Загрязнение атмосферного воздуха автомобильно-дорожным комплексом // Alfabuild. – 2017. – № 1. – С. 99–110. – <https://elibrary.ru/parvkf>
15. Подрубный Д. Г., Широкова В. А. Геоэкологические особенности зелёной инфраструктуры (на примере городского округа Балашиха Московской области) // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2022. – № 6. – С. 569–572. – [https://doi.org/10.55186/25876740\\_2022\\_65\\_6\\_569](https://doi.org/10.55186/25876740_2022_65_6_569)
16. Пытьев Ю. П., Шишмарёв И. А. Теория вероятностей, математическая статистика и элементы теории возможностей для физиков. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Изд-во МГУ, 2023. – 410 с.
17. Регионы России. Основные социально-экономические показатели городов / Федер. служба гос. статистики. – Офиц. изд. – Москва : Росстат, 2024. – 436 с.
18. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания : утв. 28.01.2021 (с изм. от 30.12.2022) // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202102030022> (дата обращения: 23.01.2025).
19. Среднее квадратичное отклонение // Allcalc : онлайн-калькулятор. – URL: <https://allcalc.ru/node/1011> (дата обращения: 23.01.2025).
20. Тимерханов А. В. В Москве зарегистрировано более 4 млн легковых автомобилей // АВТОСТАТ. Аналитическое агентство : [сайт]. – 12 авг. 2024. – URL: <https://www.autostat.ru/news/58263/> (дата обращения: 29.11.2024).
21. Характеристика Басманного района // Портал правительства Москвы. Управа Басманного района города Москвы : [сайт]. – URL: [https://basman.mos.ru/basmannyy\\_rayon/index.php](https://basman.mos.ru/basmannyy_rayon/index.php) (дата обращения: 15.02.2025).
22. Хаустов А. П., Редина М. М. Оценка вклада дорожно-транспортной системы в загрязнение окружающей атмосферы твёрдыми частицами // Транспортное строительство. – 2024. – № 1. – С. 29–32. – <https://elibrary.ru/zoknif>
23. Шепелев В. Д., Слободин И. С., Бауэр А. А., Смирнов К. И. Модель оценки количества и концентрации мелкодисперсионных выбросов вредных веществ от автотранспорта на основе нейросетевых алгоритмов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. – 2022. – Т. 16, № 4. – С. 186–196. – <https://elibrary.ru/xjktgh>
24. Экологический атлас Раменского муниципального района / Администрация Рамен. муницип. р-на. – Раменское : Рамен. регион. экол. центр, 2013. – 72 с.
25. Яшник С. А. Каталитические системы нейтрализации выбросов автомобилей с дизельным двигателем: современные задачи и технологические решения по улучшению окислительного катализатора // Катализ в промышленности. – 2022. – Т. 22, № 2. – С. 25–41. – <https://doi.org/10.18412/1816-0387-2022-2-25-41>
26. Golubić J., Vogrin Z. Analysis of harmful emissions generated by road traffic in the city of Zagreb and proposals of measures // Transport Problems. – 2013. – Vol. 8, iss. 2. – P. 73–82. – <https://elibrary.ru/tpkpa2d>

27. Guo M., Ning M., Sun S., Xu C., Zhang G., Zhang L., Zhang R., Zheng J., Chen C., Jia Z., Liu Y., Bo Y. Estimation and analysis of air pollutant emissions from on-road vehicles in Changzhou, China // *Atmosphere*. – 2024. – Vol. 15, iss. 2. – Art. 192. – <https://doi.org/10.3390/atmos15020192>
28. Guo D., Wei H., Guo Y., Wang C., Yin Z. Non-exhaust particulate matter emission from vehicles : a review // *E3S Web of Conferences*. – 2021. – Vol. 268. – Art. 01015. – <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126801015>
29. Kranjčić N., Dogančić D., Durin B., Siročić A. P. Analyzing air pollutant reduction possibilities in the city of Zagreb // *International Journal of Geo-Information*. – 2022. – Vol. 11, iss. 4. – Art. 259. – <https://doi.org/10.3390/ijgi11040259>
30. Li J., Wang C., Abdoli S., Yuen A. C. Y., Kook S., Yeoh G. H., Chan Q. N. Economic burden of transport related pollution in Australia // *Journal of Transport & Health*. – 2024. – Vol. 34. – Art. 101747. – <https://doi.org/10.1016/j.jth.2023.101747>
31. Lopez-Aparicio S., Grythe H., Drabicki A., Chwastek K., Toboła K., Górski-Niemas L., Kierpiec U., Markelj M., Strużewska J., Kud B., Santos G. S. Environmental sustainability of urban expansion: Implications for transport emissions, air pollution, and city growth // *Environment International*. – 2025. – Vol. 196. – Art. 109310. – <https://doi.org/10.1016/j.envint.2025.109310>
32. Mao K., Yao Y., Wang K., Liu C., Tang G., Feng S., Shen Y., Ju A., Zhou H., Li Z. Analysis of PM<sub>2.5</sub> pollution transport characteristics and potential sources in four Chinese megacities during 2022: seasonal variations // *Atmosphere*. – 2024. – Vol. 15, iss. 12. – Art. 1482. – <https://doi.org/10.3390/atmos15121482>
33. Nelson P. F., Tibbett A. R., Day S. J. Effects of vehicle type and fuel quality on real world toxic emissions from diesel vehicles // *Atmospheric Environment*. – 2008. – Vol. 42, iss. 21. – P. 5291–5303. – <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.02.049>
34. Pryciński P., Pielecha P., Korzeb J., Pielecha J., Kostrzewski M., Eliwa A. Air pollutant emissions of passenger cars in Poland in terms of their environmental impact and type of energy consumption // *Energies*. – 2024. – Vol. 17, iss. 21. – Art. 5357. – <https://doi.org/10.3390/en17215357>
35. Stojić N., Štrbac S., Čurčić L., Pucarević M., Prokić D., Stepanov J., Stojić G. Exploring the impact of transportation on heavy metal pollution: A comparative study of trains and cars // *Transportation Research. Pt. D: Transport and Environment*. – 2023. – Vol. 125. – Art. 103966. – <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103966>

## ASSESSMENT OF THE CONTRIBUTION OF VARIOUS CATEGORIES OF TRANSPORT VEHICLES TO THE TOTAL POLLUTION OF THE ATMOSPHERE OF URBAN AREAS

Nartov A. S., Kozhevnikova V. V., Kuznecova V. V., Mel'nikova A. V.

*State University of Land Use Planning, Moscow, Russian Federation,*

*e-mail: [nartovalexander@gmail.com](mailto:nartovalexander@gmail.com)*

**Abstract:** The article considers the current environmental problem of assessing the contribution of specific mobile sources of pollutant emissions to the total pollution of the atmospheric air of urban areas. To solve this issue, it is proposed to apply a probabilistic approach based on the calculation of conditional probability using the Bayes formula. The article presents the results of using the proposed methodology to assess the contribution

of vehicles of various categories (L — motorcycles and mopeds, M1 — cars, M2 — buses (except electric buses) and N — trucks) to the total air pollution of two areas of Moscow (a section of the Basmanny district and a section of the Konkovo district) and two urban areas of the Moscow region (areas of the cities of Balashikha and Ramenskoye) with three toxic volatile inorganic oxides (nitrogen dioxide NO<sub>2</sub>, sulfur dioxide SO<sub>2</sub>, carbon monoxide CO), as well as solid particles PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> during rush hour (the period from 5 to 6 p. m.).

**Keywords:** air pollution, motor transport, volatile inorganic oxides, solid particles, probability, Bayes' formula

#### Сведения об авторах

|                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Нартов<br>Александр<br>Сергеевич     | кандидат географических наук, доцент, ФГБОУВО «Государственный университет по землеустройству», ул. Казакова, 15, г. Москва, 105064, Российская Федерация,<br><a href="mailto:nartovalexander@gmail.com">nartovalexander@gmail.com</a>                                                                          |
| Кожевникова<br>Виктория<br>Вадимовна | студент 4 курса кафедры геоэкологии и природопользования по направлению «экология и природопользование», ФГБОУВО «Государственный университет по землеустройству», ул. Казакова, 15, г. Москва, 105064, Российская Федерация,<br><a href="mailto:kozhevnikova.victo@yandex.ru">kozhevnikova.victo@yandex.ru</a> |
| Кузнецова<br>Вера<br>Валерьевна      | студент 4 курса кафедры геоэкологии и природопользования по направлению «экология и природопользование», ФГБОУВО «Государственный университет по землеустройству», ул. Казакова, 15, г. Москва, 105064, Российская Федерация,<br><a href="mailto:verakurteva@yandex.ru">verakurteva@yandex.ru</a>               |
| Мельникова<br>Анна<br>Викторовна     | студент 4 курса кафедры геоэкологии и природопользования по направлению «экология и природопользование», ФГБОУВО «Государственный университет по землеустройству», ул. Казакова, 15, г. Москва, 105064, Российская Федерация,<br><a href="mailto:raito.zm@yandex.ru">raito.zm@yandex.ru</a>                     |

*Поступила в редакцию 26.12.2024 г.  
Принята к публикации 07.04.2025 г.*



---

---

СТРУКТУРА, ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ  
И ДИНАМИКА ЭКОСИСТЕМ

---

---

УДК [911.52:551.435.3](292.471-14)

DOI: [10.21072/eco.2025.10.1.04](https://doi.org/10.21072/eco.2025.10.1.04)

ЛАНДШАФТНАЯ СТРУКТУРА ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ  
ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ГОРОДА СЕВАСТОПОЛЯ \*

Панкеева Т. В., Миронова Н. В.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,

г. Севастополь, Российская Федерация,

e-mail: [tatyanapankeeva@yandex.ru](mailto:tatyanapankeeva@yandex.ru)

**Аннотация:** В статье представлены результаты исследования ландшафтной структуры прибрежной зоны юго-восточной части г. Севастополя. Исследования проводили методом ландшафтного профилирования на ключевых участках в период с 2016 по 2022 г. Впервые составлена ландшафтная карта прибрежной зоны изучаемого района на уровне местностей. В сухопутной части выделено 27 местностей, а в морской — 9. Для ландшафтной структуры суши характерны местности крутых и обрывистых склонов, сложенных известняковыми породами с фисташково-можжевельным редколесьем и сосновыми лесами. Ландшафты наземной части обладают высокой аттрактивностью и выполняют важные средообразующие функции для г. Севастополя. В прибрежье доминируют местности, приуроченные к подводному склону, где преобладают эрикария косматая, гонголария бородастая и филлофора курчавая. Подводные ландшафты характеризуются сохранностью, высокими продукционными показателями макрофитобентоса. Многие виды растительного мира прибрежья находятся под охраной на региональном, государственном и международном уровнях. Для сохранения биологического и ландшафтного разнообразия необходимо применять системный подход к охране прибрежной зоны. Такой подход позволит достичь наилучших результатов в сохранении и восстановлении наземных и морских ландшафтов.

**Ключевые слова:** подводные ландшафты, макрофитобентос, охраняемые виды, Чёрное море, Крымский полуостров

### Введение

Увеличение антропогенной нагрузки на прибрежную зону приводит к нарушению её оптимальной территориальной организации, обострению социальных и экологических конфликтов. В результате этого происходит сокращение площадей наиболее ценных прибрежных и приморских ландшафтов.

В данной статье под прибрежной зоной понимается береговая зона, включая зону распространения реликтовых береговых форм рельефа. Сухопутная часть этой зоны называется побережьем или приморьем, а морская — взморьем или прибрежьем [Игнатов, Орлова, Санин, 2014]. Характерно, что в этой узкой полосе расположены уникальные прибрежные ландшафты, которые формируются в зоне контакта суша — море.

Анализ научной литературы показал, что исследование ландшафтной структуры прибрежной зоны на региональном уровне остаётся недостаточно изученным. В связи с этим применение ландшафтного подхода к изучению прибрежной зоны вызывает интерес и активно обсуждается, приобретая научно-практическую значимость [Панкеева, Бондарева, 2014; Панкеева, Бондарева, 2015; Михайлов, Мирошниченко, 2016; Панкеева, Миронова, Пархоменко, 2022].

---

\* работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ (№ гос. регистрации 124022400152-1).

В качестве модельного региона для исследования выбрана прибрежная зона юго-восточной части города федерального значения Севастополя. С одной стороны, она характеризуется высокой сохранностью прибрежных ландшафтов, а с другой — является рекреационно-привлекательной территорией [Панкеева, Бондарева, 2015].

Цель статьи заключалась в изучении ландшафтной структуры прибрежной зоны юго-восточной части г. Севастополя для разработки научно-практических рекомендаций рационального природопользования.

### Материал и методы

Исследуемая прибрежная зона простирается на 21,1 километра от мыса Балаклавский до мыса Сарыч. Общая площадь района составляет 21,2 км<sup>2</sup>, из которых на акваторию приходится 6,5 км<sup>2</sup> (рис. 1). Район изучения в сухопутной части ограничен размерами водоохранной зоны, ширина которой составляет 500 метров, а в прибрежье — определяется нижней границей обитания донной растительности.

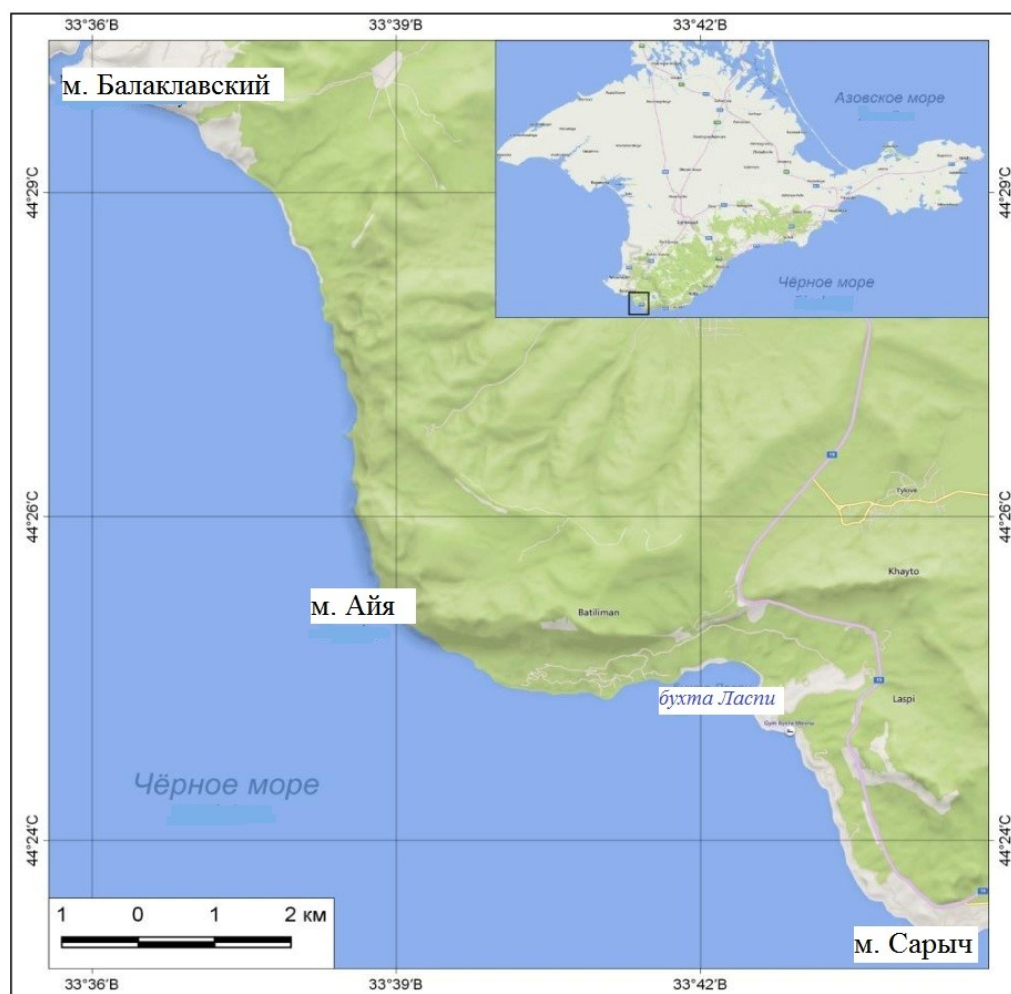


Рис. 1. Картограмма района исследования

В рельефе исследуемой территории преобладают крутые склоны, сложенные преимущественно из верхне- и среднеюрских известняков. Климат относится к западному южнобережному средиземноморскому типу, который характеризуется засушливым, жарким летом с умеренно-тёплой зимой. Однако, несмотря на общие черты климата Южного берега Крыма (ЮБК), в этом районе наблюдаются микроклиматические особенности, обусловленные бризовой циркуляцией. Почвы здесь коричневые, преимущественно короткопрофильные, маломощные и щебнистые. Особую ценность представляют редколесья хвойных пород: можжевельника высокого (*Juniperus excelsa* M. Bieb.), сосны Палласа (*Pinus pallasiana* D. Don) и сосны брутйской (*Pinus brutia* Ten. var. *pityusa* (Steven) Siba).

Подводный склон в целом приглубый, однако его морфометрические особенности варьируют в зависимости от типа берега. Для абразионно-обвальных берегов в глинистых (аргелитовых) отложениях характерен глыбово-валунный бенч, при этом подводный склон отличается незначительным уклоном до глубины 13–15 м. Для абразионно-денудационных берегов в верхнеюрских известняках типичны глыбовые навалы и резкий свал глубин от 10 до 25 м. Своеобразие конфигурации береговой линии создаёт благоприятные условия для формирования вдольбереговых течений и прибрежного локального апвеллинга. В составе донной растительности обильно встречаются виды макрофитов: *Ericaria crinita* (Duby) Molinari & Guiry = *Cystoseira crinita*), *Gongolaria barbata* (Stackhouse) Kuntze = *Cystoseira barbata*, *Phyllophora crispa* (Huds.) P.S. Dixon, *Stilophora tenella* (Esper) P.C. Silva, *Nereia filiformis* (J. Ag.) Zanard. и *Zanardinia typus* (Nardo) P. C. Silva.

Ландшафтные исследования прибрежной зоны юго-восточной части г. Севастополя выполнены в период с 2016 по 2022 г. Изучение морфологической структуры ландшафтов проводили на уровне местностей в соответствии с общепринятыми методами, используемыми в наземном и морском ландшафтоведении [Петров, 1989; Исаченко, 1980]. При изучении структуры ландшафтов использовали метод ландшафтного профилирования с описанием трансект и ключевых участков. Всего заложено 11 профилей и выполнено 90 комплексных описаний. Идентификацию наземных видов растительности проводили с использованием «Определителя высших растений Крыма» [Определитель высших растений Крыма, 1972], «Определителя высших растений Украины» [Определитель высших растений Украины, 1999], а также других флористических сводок. Номенклатура видов представлена в основном согласно POWO [Plants of the World ... , 2017].

Работы в акватории выполняли с применением легководолазного снаряжения [Pankeeva, Mironova, 2019]. Первоначально дайверы-исследователи (команда состояла из двух человек), снабжённые дайв-компьютером (*AERIS F10*), проходили вдоль мерной линии, выполняя фото- и видеосъёмку, описывали донные отложения, пользуясь классификацией морских обломочных осадков по гранулометрическому составу [Блинова, Пронина, Штрик, 2005]. Для изучения видового состава фитобентоса использовали материалы гидрботанической съёмки, проведённой в границах профилей. Отбор проб макрофитов осуществляли по стандартной методике [Калугина-Гутник, 1969]. Идентификацию видов водорослей проводили по «Определителю зелёных, бурых и красных водорослей южных морей СССР» [Зинова, 1967] с учётом последних номенклатурных изменений [Guiry M., Guiry G.]. Выделение фитоценозов осуществляли согласно доминантной классификации по А. А. Калугиной-Гутник [Калугина-Гутник, 1975].

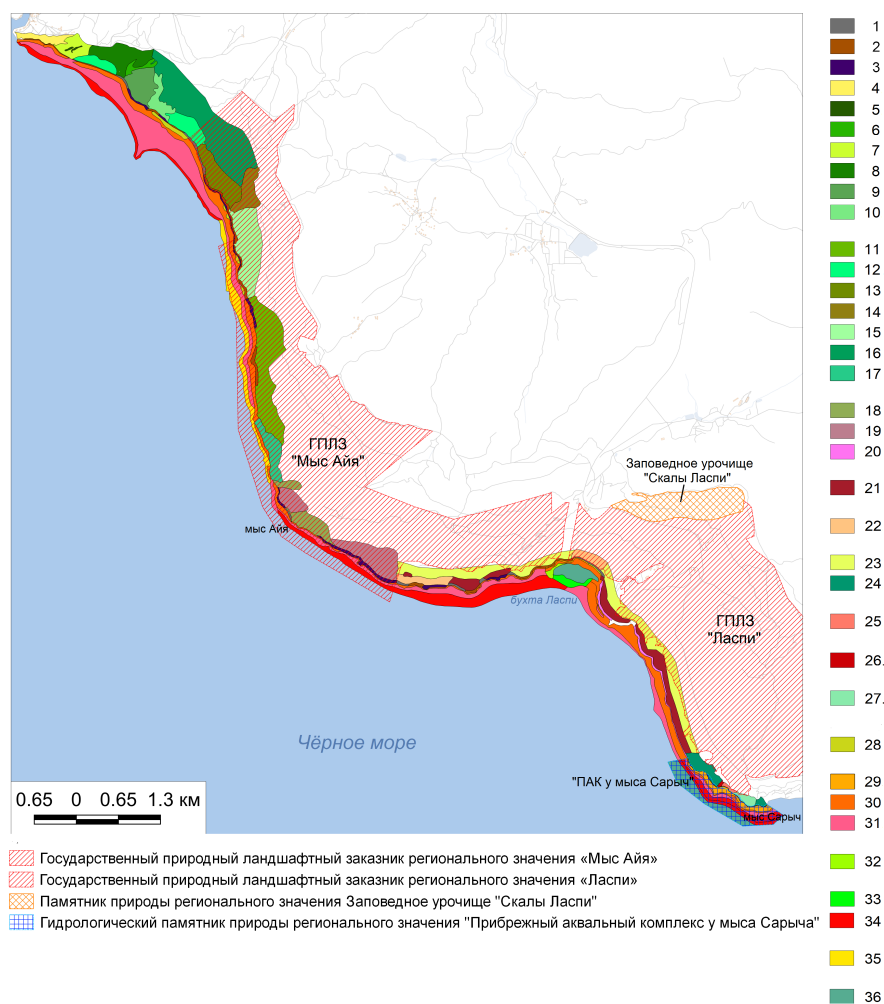
Для создания ландшафтной карты использовали программный пакет *QGIS 2.18.25* и электронную основу топографической и батиграфической карт. Информацию о природных компонентах прибрежной зоны, полученную в ходе полевых исследований, оформляли графически в виде ландшафтных профилей. Результаты анализа ландшафтной структуры территории и акватории были обобщены и представлены в виде ландшафтной карты.

## Результаты и обсуждение

В ландшафтной структуре прибрежной зоны юго-восточной части г. Севастополя выделены как общие черты, свойственные в целом Южному берегу Крыма (ЮБК), так и уникальные особенности, связанные с проявлением локальных ландшафтообразующих факторов. Морфологическая структура ландшафтов прибрежной зоны формируется за счёт дифференциации, преимущественно по геолого-геоморфологическому признаку. Это приводит к образованию склонов различной крутизны с активно протекающими физико-географическими процессами и, как следствие, к формированию разнообразных типов отложений.

**Ландшафтная структура побережья.** Исследуемый регион расположен в низкогорном поясе зоны южного макросклона гор, дубовых, фисташково-дубовых, можжевельново-сосновых лесов и шибляковых зарослей [Позаченюк, Панкеева, 2008].

На уровне местностей выделено 27 ландшафтных контуров (рис. 2). Дифференциация ландшафтов на местности проведена в зависимости от приуроченности к геоморфологическим комплексам: водораздельно-грядовые и останцово-водораздельные поверхности, эрозионные формы рельефа, среднекрутые склоны ( $9-18^\circ$ ), крутые склоны ( $18-70^\circ$ ), крутые и обрывистые клифовые склоны ( $более\ 70^\circ$ ).



**Рис. 2.** Картограмма ландшафтной структуры прибрежной зоны юго-восточной части г. Севастополя. Составлена авторами



**Условные обозначения. Наземные ландшафты:** **1** — глыбово-галечниковые пляжи; **2** — скально-клиффовый; **3** — глыбово-валунный навал; **4** — крутые склоны с фрагментами петрофитной растительности с участием видов асфоделины и астрагала трагакантового; **5** — овражно-балочный с кустарниковыми зарослями держи-дерева колючего, жасмина кустарникового и граба восточного; **6** — овражно-балочный с фисташково-можжевельново-дубовым редколесьем; **7** — крутые гравитационные склоны (осыпи) с единичными экземплярами можжевельника высокого; **8** — крутые склоны с фисташково-можжевельново-дубовым редколесьем; **9** — крутые склоны с сосновыми лесами и единичным произрастанием видов можжевельников (высокого и дельтовидного); **10** — крутые сильноэродированные склоны, сложенные аргиллитовыми отложениями с единичным произрастанием можжевельника высокого, сосны Палласа и терескенниками; **11** — крутые террасированные склоны с посадками сосны брутийдской и Палласа; **12** — приморские обрывистые склоны, сложенные верхнеюрскими отложениями с единичным произрастанием можжевельника высокого; **13** — крутые склоны с дубово-можжевельновыми лесами; **14** — крутые склоны с постпирогенной сукцессией сосны брутийдской; **15** — крутые склоны с сосновыми лесами (сосна брутийдская); **16** — крутые ступенчато-скальные склоны с фрагментами можжевельново-сосновых и дубовых лесов; **17** — крутые ступенчато-обрывисто-оползневые склоны с единичными экземплярами видов сосен (Палласа и брутийдской) и можжевельников (высокого и дельтовидного); **18** — крутые ступенчато-обрывисто-оползневые склоны с можжевельновыми лесами; **19** — крутые ступенчато-скальные склоны с сосново-можжевельновыми лесами и земляничником мелкоплодным; **20** — выположенные водораздельные поверхности с дубово-можжевельновым редколесьем и участием фисташки туполистной, земляничника мелкоплодного с подлеском из иглицы колючей; **21** — антропогенно-преобразованные выположенные водораздельные поверхности с дубово-можжевельновым редколесьем и участием фисташки туполистной, земляничника мелкоплодного с подлеском из иглицы колючей; **22** — оползневые пологие и среднекрутые склоны с фисташково-дубово-можжевельновым лесом в комплексе с пырейными и тростниковыми ассоциациями; **23** — крутые и среднекрутые останцовые склоны с можжевельновым лесом в комплексе с дубовым редколесьем; **24** — выположенные водораздельные поверхности с дубово-можжевельновым редколесьем и участием фисташки туполистной, можжевельника дельтовидного с подлеском из иглицы колючей и ладанника крымского; **25** — антропогенно-преобразованные выположенные водораздельные поверхности с дубово-можжевельновым редколесьем и участием фисташки туполистной, можжевельника дельтовидного с подлеском из иглицы колючей и ладанника крымского; **26** — горные долины с дубово-можжевельновым редколесьем и участием фисташки туполистной, можжевельника дельтовидного с подлеском из иглицы колючей и ладанника крымского; **27** — оползневые пологие и среднекрутые склоны с можжевельновым редколесьем.

**Подводные ландшафты:** **28** — валунно-глыбовый бенч с преобладанием эрикарии косматой, гонголарии бородастой и мозаичным произрастанием диктиоты ленточной и падины павлиньей; **29** — валунно-глыбовый бенч с преобладанием эрикарии косматой и гонголарии бородастой; **30** — подводный склон, сложенный грубообломочными отложениями, где доминируют эрикария косматая и гонголария бородастая; **31** — подводный склон, сложенный грубообломочными отложениями, где доминируют эрикария косматая и гонголария бородастая с мозаично чередующимися галечно-гравийными отложениями с битой ракушей, на которых преобладает филлофора курчавая; **32** — подводный склон, сложенный грубообломочными отложениями, с преобладанием эрикарии косматой и гонголарии бородастой, а на илесто-песчаном субстрате доминирует взморник морской; **33** — слабонаклонная равнина, сложенная илесто-песчаными отложениями, с преобладанием видов морских трав; **34** — слабонаклонная равнина, сложенная гравийно-песчаными отложениями с битой ракушей, где доминирует филлофора курчавая; **35** — слабонаклонная равнина, сложенная песчаными отложениями, где донная растительность отсутствует; **36** — слабонаклонная равнина, сложенная гравийно-щебнистыми отложениями с битой ракушей, с преобладанием нерейи нитевидной, занардинии типичной, кодиума червеобразного.

Ландшафтная структура пляжево-клиффового пояса характеризуется чередованием пляжей, скально-клиффовых и оползнево-клиффово-насыпных шибляковых местностей (1–3). Особенностью этого пояса является высокая динамичность гравитационных процессов, при этом наземная растительность достаточно бедна. На обрывистых склонах активного клифа, сложенного

делювием (2), располагаются участки, занятые овсом персидским (*Avena persica* Steud.) и ячменём луковичным (*Hordeum bulbosum* L.), встречаются пятна донника белого (*Melilotus albus* Medik.). Единично на скалах отмечены жабрица камеденосная (*Seseli gummiferum* Pall. ex Smith) и резуха кавказская (*Arabis caucasica* Schltldl.), на рыхлых осыпях — василёк бесплодный (*Centaurea sterilis* Steven) и каперсы травянистые (*Capparis herbacea* Willd.). Вдоль клифа фрагментарно расположены местности глыбово-валунного навала (3) и глыбово-галечниковых пляжей (1). на пляжах встречается критмум морской (*Crithmum maritimum* L.), который включён в Красную книгу (КК) Российской Федерации (РФ) [Красная книга Российской Федерации, 2024] и КК г. Севастополя [Красная книга города Севастополя, 2018].

В ландшафтной структуре побережья преобладают местности крутых и очень крутых склонов с фисташково-можжевельновыми, можжевельновыми и сосновыми сообществами (4–26). В её западной части, на склонах, формируется местность крутых склонов с петрофитными асфоделиновыми и ковыльными сообществами в комплексе с кустарниковыми зарослями типа шибляк и единичным произрастанием видов можжевельника (4). В травяном покрове встречаются виды, занесённые в КК г. Севастополя: асфоделина жёлтая (*Asphodeline lutea* (L.) Rchb.) и асфоделина крымская (*Asphodeline taurica* (Pall. ex M. Bieb.) Endl.), онома многолистная (*Onosma polyphylla* Ledeb.), ковыль-волосатик (*Stipa capillata* L.) и ковыль камнелюбивый (*Stipa lithophila* P.A. Smirn.), шпажник итальянский (*Gladiolus italicus* Mill.) и другие [Красная книга города Севастополя, 2018]. В береговой зоне достаточно распространён овражно-балочный тип местности (5, 6). Ландшафт крутых сильноэродированных склонов, сложенных аргиллитовыми отложениями с единичным произрастанием можжевельника высокого, сосны Палласа и терескенниками, является редкой (11). Здесь отмечен ареал редкого для Крымского полуострова вида, нуждающегося в охране на региональном уровне, — крашенинниковии терескеновой (*Krascheninnikovia ceratoides* (L.) Gueldenst.), которая занесена в КК г. Севастополя [Красная книга города Севастополя, 2018].

Очень живописными, придающими особую неповторимость и эстетичность прибрежной зоне, являются местности обрывистых склонов горных массивов, сложенных среднеюрскими отложениями с единичным произрастанием можжевельника высокого, можжевельника дельтовидного, сосны Палласа и сосны бруттейской (8–10, 12–18). Эти ландшафты расположены вдоль побережья от урочища Инжир до мыса Айя. В силу своей изолированности и труднодоступности местность является своего рода рефугиумом реликтовых и эндемичных видов растений субсредиземноморской растительности. Склоны массивов с останцами выветривания причудливых форм имеют эстетическую ценность. Здесь встречаются такие охраняемые виды, как приноготовник головчатый (*Paronychia capitata* (L.) Lam.), ирис низкий (*Iris pumila* L.), включённые в КК г. Севастополя [Красная книга города Севастополя, 2018].

Ценными в биоценоотическом плане являются местности крутых склонов с дубово-можжевельновыми лесами с единичными экземплярами сосны (бруттейской и Палласа), можжевельников (высокого и дельтовидного), земляничника мелкоплодного (19–23). Ландшафты занимают побережье Ласпинского амфитеатра. В подлеске встречается иглица колючая (*Ruscus aculeatus* L.). Отмечены орхидные растения: анакамптис пирамидальный (*Anacamptis pyramidalis* (L.) Rich), ятрышник пурпурный (*Orchis purpurea* Huds.), любка зеленоцветковая (*Platanthera chlorantha* (Custer) Rchb.), комперия Компера (*Comperia cjmperana* (Steven) P. Delforge). В травяном ярусе леса отмечены пион крымский (*Paeonia daurica* Andrews), первоцвет обыкновенный (*Primula vulgari* Huds.), коротконожка лесная (*Brachypodium sylvaticum* (Huds.) P. Beauv.), зубянка пятилистная (*Dentaria guinguefolia* (L.) Crantz).

Для эрозионно-денудационного низкогорья, занимающего побережье памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс (ПАК) у мыса Сарыч», характерна местность выположенных водораздельных поверхностей с дубово-можжевельновым редколесьем и участием фисташки туполистной, можжевельника дельтовидного с подлеском из иглицы колючей и ладанника крымского (24). Обильны эфемеры-однолетники, много жабрицы вильчатой (*Seseli dichotomum*

Pall. ex M. Bieb.), тимьяна Регнера (*Thymus roegneri* K. Koch), фуманы клейковатой (*Fumana viscidula* (Stev.) Juz.). Модификация этого ландшафта связана с наличием рекреационных и селитебных комплексов (25). Водораздельные поверхности чередуются с горными балками (26), в которых распространены можжевельново-дубовые разреженные леса с участием фисташки туполистной, в подлеске — ладанник крымский (*Cistus tauricus* C. Presl) и иглица колючая (*Ruscus aculeatus*). Здесь также доминирует пырейная ассоциация из пырея узловатого (*Elytrigia nodosa* (Nevski) Nevski) с участием овсяницы валисской (*Festuca valesiaca* subsp. *Valesiaca* Gaudin), осоки Галлера (*Carex halleriana* Asso), осоки заострённой (*Carex acutiformis* Ehrh.), жабрицы вильчатой (*Seseli dichotomum*), тимьяна Регнера (*Thymus roegneri*). Местами отмечены куртины иглицы колючей (*Ruscus aculeatus*), а по тальвегу — заросли тростника южного (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.).

В юго-восточной части памятника природы «ПАК у мыса Сарыч» расположена местность оползневых пологих и среднекрутых склонов с можжевельновым редколесьем (27). В подлеске можжевельниковых сообществ встречается ладанник крымский (*Cistus tauricus*), единично присутствует можжевельник дельтовидный (*Juniperus deltoides* R.P.Adams). в травостое преобладает типчаково-пырейная либо чиево-пырейная ассоциация. Обильны солонечник мохнатый (*Galatella villosa* (L.) Rchb. f.), кохия распростёртая (*Kochia prostrata* (L.) Schrad.), пятилистник травянистый (*Dorycnium herbaceum* Vill.), фумена клейковатая (*Fumana viscidula*), полынь австрийская (*Artemisia austriaca* Jacq.).

Таким образом, наземные ландшафты побережья от мыса Балаклавский до мыса Сарыч отличаются биологическим разнообразием, реликтовым характером флоры, аттрактивностью, обладают высоким средообразующим потенциалом.

**Ландшафтная структура побережья** (рис. 2). Вдоль всего побережья от мыса Балаклавский до мыса Сарыч преобладает местность, приуроченная к подводному склону, сложенная грубообломочными отложениями, где преобладают эрикария косматая и гонголария бородатая. Глубина её распространения варьирует от 3 до 10 м (30). Для побережья характерен резкий спад глубин, глыбовый навал. Валунно-глыбовый бенч с преобладанием эрикарии косматой, гонголарии бородатой (29) и мозаичным произрастанием диктиоты ленточной, падины павлиньей (28) представлен фрагментарно вдоль всего побережья, приурочен к микроамфитеатральным эрозионно-тектоническим структурам с «карманными пляжами», встречается на глубинах 0,5–1 м. Глыбовый бенч сложен осадочными породами, формируется у обрывистых скальных склонов, очень узкий (шириной до 1–2 м).

В составе донной растительности в интервале глубин 0,5–10 м встречаются кладостефус губчатый (*Cladostephus spongiosum* (Huds.) C.Ag.), кладофоропсис плёнчатый (*Cladophoropsis membranacea* (Bang ex C.Ag.) Borgesen), эллисоландия удлинённая (*Ellisolandia elongata* (J.Ellis et Solander) K.R.Hind et G.W.Saunders), виды рода *Corallina*. На слоевищах эрикарии косматой (*Ericaria crinita*) и гонголарии бородатой (*Gongolaria barbata*) обильно развиваются эпифитные синузии, представленные сфацеларией усатой (*Sphacelaria cirrhosa* (Roth) C.Ag.), мириакулой ривуляриевой (*Myriactula rivulariae* (Suhr ex Aresch.) Feldmann), коринофлорой зонтичной (*Corynophlaea umbellata* (C.Ag.) Kütz.), лауренцией чашевидной (*Laurencia coronopus* J.Ag.), лауренцией тупой (*L. obtusa* (Huds.) J.V.Lamour.), вертебротой шилоносной (*Vertebrata subulifera* (C.Ag.) Kuntz.), антитамином крестовидным (*Antithamnion cruciatum* (C.Ag.) Nägeli), апоглоссумом рускусolistным (*Apoglossum ruscifolium* (Turner) J.Ag.), хондрией густолистной (*Chondria dasyphylla* (Woodw.) C.Ag.), хондрией тончайшей (*Ch. capillaris* (Huds.) M.J.Wynne), церамиумом древовидным (*Ceramium arborescens* J.Ag.), церамиумом прозрачным (*C. diaphanum* (Lightf.) Roth), церамиумом прямостоячим (*C. tenuicorne* Kütz. Waern) и видами родов кладофора (*Cladophora*) и хетоморфа (*Chaetomorpha*).

Подводный склон, сложенный грубообломочными отложениями, где доминируют эрикария косматая и гонголария бородатая с мозаично чередующимися галечно-гравийными отложениями с битой ракушей, на которых преобладает филлофора курчавая (31), имеет широтное простираение вдоль береговой линии на глубине 3–10(15) м, за исключением акватории бухты Ласпи. Подводный склон крутой, характерно чередование отдельно стоящих глыб диаметром до 10–15 м с участками, сложенными галечно-гравийными отложениями. Видовой состав макрофитобентоса на этих глубинах в целом аналогичен альгофлоре, описанной на предыдущих ландшафтах. В составе эрикариево-гонголариевого сообщества отмечены каррадориелла удлинённая (*Carradoriella elongata* (Huds.) Savoie & G.W.Saunders), гелидиум колючий (*Gelidium spinosum* (S.G.Gmrl.) P.C.Silva), диктиота ленточная (*Dictyota fasciola* (Roth) J.V.Lamour.), падина павлинья (*Padina pavonica* (L.) Thivy) и церамиум прутьевидный (*Ceramium virgatum* Roth). Эпифиты, помимо вышеперечисленных, представлены сезонно-зимним видом — эктокарпусом стручковатым (*Ectocarpus siliculosus* (Dillwyn) Lyngb.), ломентарией мелкобулавовидной (*Lomentaria clavellosa* (Turn.) Gail.), акрохаетиумом односторонним (*Acrochaetium secundatum* (Lyngb.) Nägeli) и сезонно-летним видом — стилофорой нежной (*Stilophora tenella*).

В северо-западной части бухты Ласпи на глубине от 5 до 10 м характерна местность подводного склона, сложенного грубообломочными отложениями, с преобладанием эрикарии косматой и гонголарии бородатой, а на илисто-песчаном субстрате доминирует взморник морской (32). Преобладают илисто-песчаные отложения с отдельно хаотично расположенными глыбами. Это зона хорошо выраженных мелких знаков ряби (рифелей). Центральную часть бухты на глубине от 10 до 15 м занимает слабонаклонная равнина, сложенная илисто-песчаными отложениями, с преобладанием видов морских трав (33). Рельеф представляет наклонную аккумулятивную поверхность с илисто-песчаными отложениями. Высшая водная растительность, помимо взморника морского (*Zostera marina* L.), представлена взморником Нольта (*Zostera noltei* Hornem.), а эпифитная синузия — лауренцией тупой (*Laurencia obtusa*) и видами кладофора (*Cladophora*).

На открытых побережьях на глубине 10–15 м зарегистрирована местность — слабонаклонная равнина, сложенная гравийно-песчаными отложениями с битой ракушей, где доминирует филлофора курчавая (34). Рельеф дна представляет выровненную слабонаклонную аккумулятивную поверхность. Среди зарослей филлофоры курчавой (*Phyllophora crispa*) отмечены занардиния типичная (*Zanardinia typus*), нерейя нитевидная (*Nereia filiformis*), осмундия перистоадрезная (*Osmundea pinnatifida* (Huds.) Stackhouse), кораллина зерноносная (*Corallina granifera* J.Ellis & Solander) и кодиум червеобразный (*Codium vermilara* (Oliv.) Delle Chiaje). На глубине более 15 м отмечена местность слабонаклонной равнины, сложенной песчаными отложениями, где донная растительность отсутствует (35). Песок разнотекстурный с примесью битой ракушки. Между рифелями отмечены скопления спутанных обрывков водорослей. В акватории природного заказника «Мыс Айя» на глубине 15–35 м описана слабонаклонная равнина, сложенная гравийно-щебнистыми отложениями с битой ракушей, с преобладанием нерейи нитевидной, занардинии типичной, кодиума червеобразного (36).

В побережье изучаемого района зарегистрированы виды водорослей, которые занесены в КК РФ [Красная книга Российской Федерации, 2024] и КК г. Севастополя [Красная книга города Севастополя, 2018]. К ним относятся (*Phyllophora crispa*, *Stilophora tenella*, *Nereia filiformis*, *Codium vermilara*).

Анализ полученных результатов свидетельствует, что подводные ландшафты исследуемого побережья отличаются высоким флористическим разнообразием, сохранностью краснокнижных видов и многолетних коренных фитоценозов: (*Ericaria crinita* + *Gongolaria barbata* – *Cladostephus spongiosus*; (*Gongolaria barbata*) – *Phyllophora crispa*; *Phyllophora crispa* и *Nereia filiformis* + *Zanardinia typus* + *Codium vermilara*), а также альгоценозом морской травы *Zostera marina*, сообщества которой охраняются Бернской конвенцией.



В последнее время в прибрежной зоне юго-восточной части г. Севастополя наблюдается значительное увеличение рекреационной нагрузки на природные комплексы. Здесь активно строятся пансионаты и кемпинги, что приводит к сокращению численности как средиземноморских видов растительного мира, так и ключевых видов донной растительности. К изучаемому району принадлежат территории природного заказника «Мыс Айя» и памятника природы «ПАК у мыса Сарыч». Однако существующий заповедный статус и функциональное зонирование юго-восточной части г. Севастополя не в полной мере способствуют сохранению и восстановлению прибрежной зоны. В результате возникает конфликт между необходимостью охраны естественных ландшафтов и растущим антропогенным воздействием. Если не принять меры по сохранению и восстановлению уникальных ландшафтов ЮБК, то могут произойти необратимые процессы и потеря полной информации о полусубтропических субсредиземноморских лесах. Увеличение степени эвтрофирования морской среды, вследствие интенсивного освоения исследуемого района, приведёт к существенной перестройке и деградации растительной компоненты подводных ландшафтов. Так, в антропогенно-преобразованных районах отмечается снижение видового разнообразия макрофитов, наблюдается уменьшение доли средообразующих многолетних видов (*Ericaria crinita*, *Gongolaria barbata* и *Phyllophora crispa*), которое сопровождается обильным развитием эпифитных синузий и сопутствующих короткоживущих эфемероидных водорослей [Pankeeva, Mironova, 2019].

Таким образом, при организации и управлении природопользованием прибрежной зоны необходимо учитывать, что надводная и подводная части являются элементами одной геосистемы. В связи с этим целесообразно использовать системный подход к организации природопользования, что обеспечит наилучшие результаты в сохранении и восстановлении наземных и морских ландшафтов. Подписание РФ Международной конвенции о биологическом разнообразии ставит задачу разработки государственной системы охраны ландшафтов как местообитаний. Ландшафты, как самостоятельные типы местообитаний, являются основой для пространственного анализа отдельных элементов биоразнообразия. Для сохранения ландшафтов важную роль играет разработка концепции экологического каркаса прибрежной зоны; а также повышение природоохранного статуса охраняемых объектов.

### Выводы

1. Впервые для юго-восточной части г. Севастополя составлена карта ландшафтов прибрежной зоны на уровне местностей. В сухопутной части было выделено 27 местностей, а в морской — 9.
2. Установлено, что ландшафтная структура прибрежной зоны юго-восточной части г. Севастополя отличается значительным разнообразием, сложной организацией и высокой мозаичностью.
3. Выявлено, что наземные ландшафты характеризуются биологическим разнообразием, реликтовым характером флоры, аттрактивностью и обладают высоким средообразующим потенциалом. В ландшафтной структуре побережья доминируют подводные ландшафты с ключевыми видами водорослей (*Ericaria crinita*, *Gongolaria barbata* и *Phyllophora crispa*) и морских трав (*Zostera marina* и *Z. noltei*).
4. Установлено, что растительная компонента ландшафтов характеризуется наличием охраняемых на региональном, государственном и международном уровнях видов растений и макрофитов, что свидетельствует о природоохранной ценности прибрежной зоны юго-восточной части г. Севастополя.

### Список литературы

1. Блинова Е. И., Пронина О. А., Штрик В. А. Методические рекомендации по учету запасов промысловых морских водорослей прибрежной зоны // Изучение экосистем рыбохозяйственных водоемов, сбор и обработка данных о водных биологических ресурсах, техника и технология их добычи и переработки / Всерос. науч.-исслед. ин-т рыб. хоз-ва и океанографии. – Москва : ВНИРО, 2005. – Вып. 3. – С. 80–127.
2. Зинова А. Д. Определитель зеленых, бурых и красных водорослей южных морей СССР. – Москва ; Ленинград : Наука, [Ленинград. отд-ние], 1967. – 397 с.
3. Игнатов Е. И., Орлова М. С., Санин А. Ю. Береговые морфосистемы Крыма. – Севастополь : ЭКОСИ–Гидрофизика, 2014. – 266 с.
4. Исаченко А. Г. Методы прикладных ландшафтных исследований. – Ленинград : Наука, Ленинград. отд-ние, 1980. – 222 с.
5. Калугина-Гутник А. А. Исследование донной растительности Чёрного моря с применением легководолазной техники // Морские подводные исследования / Акад. наук СССР, Океаногр. комис. ; отв. ред. Б. П. Мантейфель. – Москва : Наука, 1969. – С. 105–113.
6. Калугина-Гутник А. А. Фитобентос Чёрного моря. – Киев : Наук. думка, 1975. – 248 с. – <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/5645>
7. Красная книга Российской Федерации. Растения и грибы / М-во природ. ресурсов и экологии Российской Федерации [и др.] ; отв. ред. Д. В. Гельтман. – 2-е офиц. изд. – Москва : ВНИИ «Экология», 2024. – 944 с.
8. Красная книга города Севастополя / Правительство Севастополя, Гл. упр. природ. ресурсов и экологии г. Севастополя ; отв. ред.: И. В. Довгаль, В. В. Корженевский. – Калининград ; Севастополь : РОСТ-ДООАФК, 2018. – 432 с.
9. Михайлов В. А., Мирошниченко И. А. Береговые процессы в структуре геопортала современных ландшафтов: теоретико-методические подходы // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. География. Геология. – 2016. – Т. 2, № 3. – С. 212–219. – <https://elibrary.ru/yidmqb>
10. Определитель высших растений Крыма : науч. изд. / АН СССР, Науч. центр по пробл. «Биол. основы рацион. использования, преобразования и охраны растит. мира» ; под общ. ред. Н. И. Рубцова. – Ленинград : Ленинград. отд-ние, Наука, 1972. – 550 с.
11. Определитель высших растений Украины / АН УССР, Ин-т ботаники им. Н. Г. Холодного ; отв. ред. Д. Н. Доброчаева. – 2-е изд., стереотип. с незначит. доп. и изм. – Киев : Фитосоциоцентр, 1999. – 547 с.
12. Панкеева Т. В., Бондарева Л. В. Ландшафтный подход к оценке состояния фитокомплексов береговой зоны Южного побережья (в регионе Севастополя) // XXIX Любичевские чтения. Современные проблемы эволюции и экологии : сб. материалов междунар. конф., Ульяновск, 06–08 апр. 2015 года / Ульянов. гос. пед. ун-т им. И. Н. Ульянова ; ред.: Р. Г. Баранцев [и др.]. – Ульяновск : УГПУ, 2015. – С. 436–444. – <https://elibrary.ru/ynqiwe>
13. Панкеева Т. В., Бондарева Л. В. Методические подходы к ландшафтно-созологической оценке прибрежных комплексов // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2014. – Вып. 11. – С. 57–67. – <https://elibrary.ru/vkczgf>
14. Панкеева Т. В., Миронова Н. В., Пархоменко А. В. Современные ландшафты западного побережья Севастополя // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. География. Геология. – 2022. – Т. 8, № 1. – С. 54–69. – <https://elibrary.ru/gdbmdf>

15. Петров К. М. Подводные ландшафты: теория, методы исследования. – Ленинград : Наука, Ленинград. отд-ние, 1989. – 126 с.
16. Позаченюк Е. А. Панкеева Т. В. Геоэкологическая экспертиза административных территорий (Большой Севастополь). – Симферополь : Бизнес-Информ, 2008. – 296 с. – <https://elibrary.ru/wbqatb>
17. Guiry M. D., Guiry G. M. AlgaeBase. World-wide electronic publication / Nat. Univ. of Ireland. – Galway. – URL: <http://www.algaebase.org> (accessed: 25.12.2024).
18. Pankeeva T. V., Mironova N. V. Spatiotemporal changes in the macrophytobenthos of Laspi Bay (Crimea, Black Sea) // Oceanology. – 2019. – Vol. 59, iss. 1. – P. 86–98. – <https://doi.org/10.1134/S0001437019010168>
19. Plants of the World Online / Royal Botanic Gardens. – London, UK, 2017–. – URL: <https://powo.science.kew.org/> (accessed: 20.12.2024).

## LANDSCAPE STRUCTURE OF THE COASTAL ZONE SOUTHEASTERN PART OF THE CITY OF SEBASTOPOL

Pankeeva T. V., Mironova N. V.

*A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,  
e-mail: [tatyanapankeeva@yandex.ru](mailto:tatyanapankeeva@yandex.ru)*

**Abstract:** The article presents information about the landscape structure of the coastal zone of the southeastern part of Sevastopol. The research was conducted by landscape profiling at key sites between 2016 and 2022. For the first time, a landscape map of the coastal zone of the study area was compiled at the site level. Twenty-seven localities were identified in the land part and 9 in the sea part. The landscape structure of the land is characterized by areas of steep and precipitous slopes composed of limestone rocks with pistachio-juniper sparse forests and pine forests. The landscapes of the terrestrial part have high attractiveness and perform important environment-forming functions for Sevastopol. The coastal area is dominated by areas confined to the underwater slope, dominated by *Ericaria crinita*, *Gongolaria barbata* и *Phyllophora crispa*. The underwater landscapes are characterized by preservation, high productive indicators of macrophytobenthos. Many of the coastal flora are protected at regional, state, and international levels. A systematic approach to coastal protection is required to conserve biological and landscape diversity. This approach will achieve the best results in the conservation and restoration of terrestrial and marine landscapes.

**Keywords:** underwater landscapes, macrophytobenthos, protected species, Black Sea, Crimean Peninsula

### Сведения об авторах

|                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Панкеева<br>Татьяна<br>Викторовна | доктор географических наук, старший научный сотрудник отдела биотехнологий и фиторесурсов, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация, <a href="mailto:tatyanapankeeva@yandex.ru">tatyanapankeeva@yandex.ru</a> |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Миронова<br>Наталия<br>Всеволодовна | кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела биотехнологий и фиторесурсов ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация, <a href="mailto:dr.nataliya.mironova@yandex.ru">dr.nataliya.mironova@yandex.ru</a> |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

*Поступила в редакцию 17.02.2025 г.  
Принята к публикации 19.03.2025 г.*

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ,  
БИОТЕХНОЛОГИЯ И АКВАКУЛЬТУРА

УДК 594.121-155.7:593.4

DOI: [10.21072/eco.2025.10.2.05](https://doi.org/10.21072/eco.2025.10.2.05)

ПОРАЖЕНИЕ РАКОВИНЫ УСТРИЦ СВЕРЛЯЩИМИ ГУБКАМИ СЕМЕЙСТВА  
CLIONAIDAE: УГРОЗА ДЛЯ АКВАКУЛЬТУРЫ \*

Подольская М. С., Лавриченко Д. С., Челебиева Э. С., Кладченко Е. С.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,

г. Севастополь, Российская Федерация,

e-mail: [podolskaya\\_m99@bk.ru](mailto:podolskaya_m99@bk.ru)

**Аннотация:** В последнее время всё больше внимания уделяется проблеме поселения на раковинах моллюсков таких эпибионтов-вредителей, как губки семейства Clionaidae. Это связано с их негативным воздействием на массовые объекты марикультуры, в частности на тихоокеанских устриц *Magallana gigas* (Thunberg, 1793). Заражённые особи изымаются из товарооборота, что приводит к коммерческим потерям в марикультурных хозяйствах. У заражённых устриц наблюдается снижение скорости роста, уменьшение массы мягких тканей, а также увеличивается процент смертности особей в популяции. Кроме того, у заражённых особей фиксируется обсеменённость патогенной для человека микрофлорой. Несмотря на очевидную фундаментальную и практическую актуальность, информация о механизмах влияния сверлящих губок на функциональное состояние двустворчатых моллюсков довольно ограничена, фрагментарна и не структурирована. Анализ и обобщение данных могут способствовать разработке комплексных мероприятий, направленных на предотвращение заражения, смягчение негативных последствий и разработку методов лечения двустворчатых моллюсков при инвазии сверлящими губками. Данная обзорная работа посвящена обновлению и систематизации информации о распространении сверлящих губок семейства Clionaidae, их влиянии на организм двустворчатых моллюсков на примере тихоокеанских устриц, а также экономических последствиях распространения инвазии губок среди объектов марикультуры.

**Ключевые слова:** аквакультура, двустворчатые моллюски, биоминерализация, сверлящая губка, Clionaidae

**Введение**

Двустворчатые моллюски — *Magallana gigas* (Thunberg, 1793) (тихоокеанская устрица), *Saccostrea glomerata* (A. Gould, 1850) (ранее *Saccostrea commerceis*, известная также как сиднейская каменная устрица), *Ostrea edulis* (Linnaeus, 1758) (европейская плоская устрица) и *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791) (восточная устрица или американская чашевидная устрица) относятся к числу наиболее интенсивно культивируемых видов двустворчатых моллюсков в разных регионах мира [Molnar et al., 2008; Gosling, 2015; Van In et al., 2016; Šegvić-Bubić et al., 2020; Botta et al., 2020]. В связи с тем, что марикультурные хозяйства часто располагаются в динамических прибрежных участках акватории, основной проблемой для них являются вспышки инфекционных заболеваний и паразитарных инвазий, приводящих к сокращению популяций на фермах [Behringer et al., 2020; Botta et al., 2020]. Эпизоотии часто приводят к массовой гибели моллюсков и, как следствие, большим экономическим потерям на фермах [Pernet et al., 2016; Moor et al., 2022].

\*Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Механизмы функционирования иммунной системы двустворчатых моллюсков и физиологические основы ее адаптации к абиотическим, биотическим и антропогенным факторам окружающей среды» (№ гос. регистрации 124030100090-4).



Ярким примером существенных экономических потерь на марикультурных фермах является распространение паразита *Perkinsus marinus* ((Mackin, H.M.Owen & Collier) Levine, 1978) в период с сентября 1999 г. по декабрь 2001 г., что стало причиной массовой гибели *C. virginica* вдоль восточного побережья Америки [Encomio et al., 2005].

Европейские марикультурные фермы в 19 веке стали реже культивировать *O. edulis* из-за паразитарных заболеваний, вызванных *Bonamia ostreae* (Pichot, Comps, Tigé, Grizel & Rabouin, 1980) и *Marteilia refringens* (Grizel, Comps, Bonami, Cousserans, Duthoit & Le Pennec, 1974) [Alderman, 1979; Balouet, Poder, Cahour, 1983; Elston, 1993]. Для решения проблемы гибели моллюсков по причине эпизоотий марикультурные фермы интродуцируют новые, потенциально более устойчивые виды. Например, после массовой гибели *O. edulis* во Франции стали культивировать *Magallana angulata* (ранее *Crassostrea angulata*) (Lamarck, 1819), которая, в свою очередь, через 50 лет была заменена на *M. gigas* [Pouvreau et al., 2023]. В настоящее время тихоокеанская устрица *M. gigas* массово культивируется более чем в 60 странах мира как наиболее устойчивый к паразитарным и инфекционным заболеваниям вид [Zhai et al., 2021; Chi et al., 2023]. Однако глобальное изменение климата и коммерческая интродукция моллюсков в различные регионы способствует расширению ареала многих видов патогенов. В частности, одной из потенциальных проблем для массового культивирования двустворчатых моллюсков могут быть сверлящие губки семейства Clionidae [Coleman, 2014].

Сверлящие губки семейства Clionidae представляют собой группу эпибионтов-вредителей, способных разрушать карбонатные субстраты с образованием сложной трёхмерной сети камер и туннелей [Ehrlich, 2019; Kingma, 2022; Carroll, Reitsma, 2025]. Сверлящие губки оказывают как прямое негативное воздействие, разрушая защитную оболочку раковины и снижая товарный вид моллюска, так и косвенное воздействие, увеличивая доступность внутренних тканей моллюска для патогенных микроорганизмов [Carroll et al., 2015; Pyecroft, 2022; Kingma, 2022]. Для марикультурных хозяйств сверлящие губки представляют серьёзную угрозу, поскольку поражённые моллюски изымаются из товарооборота, что приводит к снижению доходов производства [Лебедевская, 2013; Шубникова, 2020; Costello et al., 2021]. Инвазия сверлящей губки *Pionea vastifica* (Hancock, 1849) негативно влияет на организм моллюсков, приводя к снижению скорости роста, наращиванию дополнительных слоёв раковины и её утолщению при одновременном уменьшении массы мягких тканей [Гаевская, Лебедевская, 2010; Kingma, 2022; Pyecroft, 2022]. Также инвазия *P. vastifica* отрицательно сказывается на санитарно-микробиологических показателях товарных моллюсков [Лебедевская, 2013]: у поражённых тихоокеанских устриц численность факультативно-анаэробных микроорганизмов может увеличиваться в десятки раз пропорционально продолжительности периода хранения при изъятии моллюсков из морской воды [Лебедевская, 2013]. Очевидно, что высокий риск развития микроорганизмов в моллюсках связан с ослаблением их иммунного и функционального статуса [Coates, Söderhäll, 2021].

В условиях растущего интереса к устойчивому развитию марикультуры необходимо провести анализ существующих знаний о влиянии сверлящих губок семейства Clionidae на здоровье тихоокеанских устриц. Понимание механизмов взаимодействия между моллюсками и эпибионтами имеет решающее значение для разработки эффективных стратегий развития, направленных на минимизацию потерь в аквакультуре. Обобщение имеющейся информации позволит не только оценить объём данных о биологии и экологии сверлящих губок в целом и вида *P. vastifica* в частности, но и выявить пробелы в текущих исследованиях, которые могут затруднять понимание их воздействия на моллюсков. Такой анализ поможет определить направления для дальнейших исследований, включая изучение устойчивости моллюсков.

Таким образом, цель данного обзора — осветить проблему заражения двустворчатых моллюсков сверлящими губками, обобщить имеющуюся в литературе информацию о механизмах проникновения, строении и жизненном цикле губок, рассмотреть возможные ответные реакции двустворчатых моллюсков на поражение раковины губками и проанализировать их влияние на развитие аквакультуры.

### Систематика и морфология сверлящих губок

Губки являются древнейшей группой многоклеточных животных. На сегодняшний день (2025 г.) в базе данных World Porifera database насчитывается более 9000 видов губок. Губки делятся на четыре различных класса, 25 отрядов, 128 семейств и 680 родов [Hooper, Van Soest, 2002]. Класс Demospongiae представляет собой наиболее разнообразный таксон: численность входящих в него видов достигает 85 % всех видов губок [Schönberg, 2002], в свою очередь, наиболее распространёнными сверлящими губками являются представители семейства Clionaidae [Morrow, Cárdenas, 2015].

Сверлящие губки имеют специализированные клетки — амёбоциты с филоподиями, которые выделяют химические вещества для растворения карбоната кальция [Zundeleovich, Lazar, Plan, 2007; Webb et al., 2019]. Эти клетки локально снижают pH среды, что способствует растворению структурных элементов раковины и созданию полостей, в которых растёт губка [Webb et al., 2017]. Скелет губок состоит из кремниевых структур — спикул. Спикулы делятся на два основных типа в зависимости от размера, формы и функций. Мегасклеры — крупные спикулы, формирующие скелет губки и обеспечивающие защиту от хищников. Выделяют несколько форм — иглочатые (тилостили, оксеи), трёхлучевые, четырёхлучевые и более сложные структуры. Микросклеры — малые спикулы, распределены по всему телу губок, обычно имеют сложную структуру (крючковатые, звездообразные) [Hooper, Van Soest, 2002; Rützler, 2002; Borchellini et al., 2021]. В классе Demospongiae выделяют следующие формы тела организма: корковидные (*Cliona aprica* (Pang, 1973)); массивные (*Cliona viridis* (Schmidt, 1862), *Cliona thomasi* (Mote, Schönberg, Samaai, Gupta & Ingole, 2019)); ветвистые, сферические, трубчатые и др. [Marine Benthic ... , 2009; Reveillaud et al., 2012; Mote et al., 2019; Ereskovsky, Lavrov, 2021].

Сверлящие губки могут существовать в трёх морфологических формах [Rützler, 2002], их также классифицировали как стадии развития [Rosell, Uriz, 1997]: эндолитная форма (альфа-стадия) — губка полностью развивается внутри субстрата, перфорирует его, формирует сложную систему каналов; сублитеральная форма (бета-стадия) — часть губки находится на поверхности субстрата, но большая часть её структуры остаётся внутри; эпифитная форма (гамма-стадия) — губка растёт на поверхности субстрата. Губка *P. vastifica* существует в эндолитной форме [Van Soest et al., 2012]. Губки семейства Clionaidae могут иметь различные оттенки — от ярко-жёлтого до коричневого или зелёного [Hooper, Van Soest, 2002; Wulff, 2006].

Теме таксономической верификации сверлящих губок посвящено большое число исследований [Rosell, Uriz, 1997; Hooper, Van Soest, 2002; Wörheide et al., 2012; Carballo et al., 2019; Erpenbeck et al., 2020]. Примечательно, что в 90-х и 2000-х годах определение видовой принадлежности сверлящих губок проводилось по морфологическим критериям. Основными отличительными признаками вида считаются форма и размер спикулы [Hooper, Van Soest, 2002; Rützler, 2002; Mote et al., 2019; Ereskovsky, Lavrov, 2021; Borchellini et al., 2021]. В работе Mote с соавторами (2019) проведено масштабное исследование биоразнообразия, распространения и морфологии морских губок тропических и субтропических вод западной части Атлантического океана [Mote et al., 2019], обнаружен новый вид губки *Cliona thomasi* (Mote, Schönberg, Samaai, Gupta & Ingole, 2019), который принадлежит к комплексу видов *C. viridis* и характеризуется типичным для этого вида строением спикул. Между родами обнаруживали существенные различия — в размерах тилостилей, спирастр, а также в форме роста. Для рода *Cliona* характерна массивная форма тела и короткие тилостили. Помимо данных особенностей, выделили характерный для рода цвет, наличие шипов на спикулах и ширину тилостилей. Отношение нового вида к роду *Cliona* было подтверждено с помощью молекулярных методов [Mote et al., 2019].

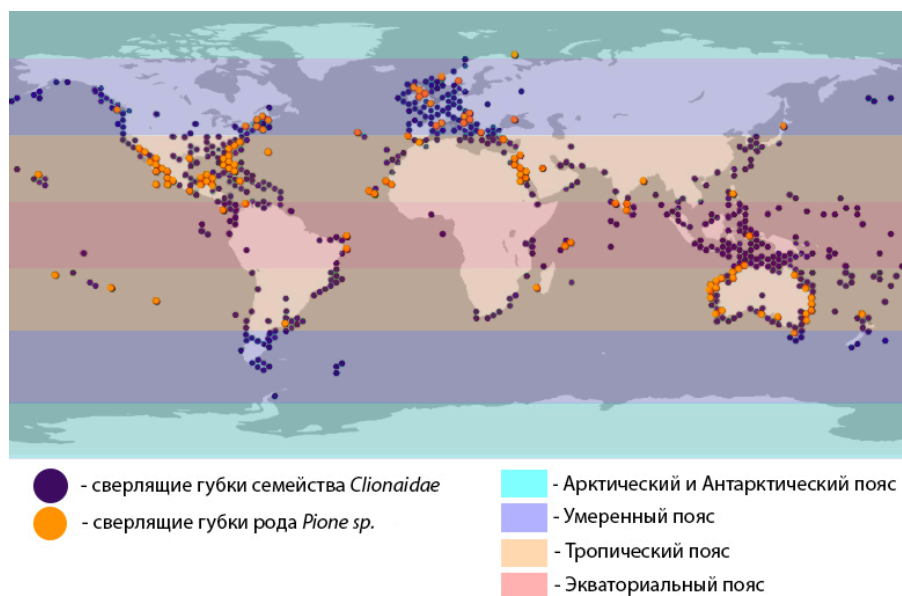
Помимо морфологических особенностей ряд авторов предложили проводить таксономическую верификацию на основании характеристики сети тунелей и каналов, создаваемых губками в раковине моллюсков [Rosell, Uriz, 2002; Calcinai, Bavestrello, Cerrano, 2004]. Так, в исследовании Calcinai (2004), посвящённом изучению микроскопических узоров от сверления губками, говорится о том, что данные микроструктуры также могут быть использованы в качестве диагностических признаков при идентификации. Было обнаружено, что микроструктуры, создаваемые сверлящими губками, имеют видоспецифичные особенности, например форму и размер каналов. *Cliona celata* (Grant, 1826) создаёт сложные сети каналов с ответвлениями, а *P. vastifica* создаёт каналы с неровными стенками и углублениями, поскольку форма и размеры каналов зависят от типа спикул, которые составляют скелет губки [Calcinai, Bavestrello, Cerrano, 2004].

Сверлящие губки обладают схожими морфологическими признаками, что затрудняет отнесение вида к видовому комплексу или роду. Способность клионид менять форму в зависимости от условий среды является важным адаптивным механизмом [Carballo et al., 2013], но существенно затрудняют таксономическую верификацию с использованием морфологических критериев [Schönberg, 2002; Wörheide, Erpenbeck, Menke, 2007; Schönberg, Fang, Carballo, 2017]. Ferrario (2010) и Wörheide (2012) с соавторами в своих работах отмечали, что многие виды сверлящих губок демонстрируют высокую пластичность морфологических признаков в зависимости от окружающей среды, что также затрудняет идентификацию видов. Эти данные также были подтверждены множеством исследователей [Dohrmann, Collins, Woerheide, 2009; Wörheide et al., 2012; Morrow, Cárdenas, 2015]. Например, исследования [Dohrmann, Collins, Woerheide, 2009; Morrow, Cárdenas, 2015] продемонстрировали, что сверлящие губки семейства Clionaidae имеют сложную филогенетическую структуру, что требует пересмотра традиционных подходов к их классификации. Они также отмечали, что традиционная систематика, основанная на морфологии спикул, не является достоверной. В частности, было показано, что виды рода *Cliona* и *Pione* имеют значительные генетические различия, несмотря на сходство в морфологии [Morrow, Cárdenas, 2015]. С использованием молекулярно-генетических методов в дополнение к морфологическим было выявлено множество новых видов, а также определены морфологические признаки, которые характеризуют и отличают их внутри этих сложных групп [Boury-Esnault et al., 1999; Rützler, 2002; Hooper, Van Soest, 2002; Wörheide et al., 2012]. В исследовании, посвящённом изучению сверлящей губки *C. celata*, авторы подчёркивают, что традиционных морфологических методов недостаточно для точной идентификации видов, и подтверждают важность молекулярно-генетических подходов. Для молекулярно-генетической идентификации был проведён филогенетический анализ на основе нуклеотидных последовательностей митохондриальных (COI, 16S rRNA) и ядерного генов (28S rRNA), а также внутреннего транскрибируемого спейсера ITS. Для сравнения использованы традиционные морфологические признаки (форма роста, спикулы). Показано, что *C. celata* представляет собой комплекс криптических видов, которые морфологически схожи, но генетически различны [Xavier et al., 2010].

В настоящее время общепринятым методом определения видовой принадлежности сверлящих губок является интегративный подход, который включает в себя как морфологические, так и генетические методы. В рамках морфологического анализа ключевыми факторами являются форма и размер спикул [Rosell, Uriz, 1997; Evcen, Çınar, 2015]. В свою очередь, внешние характеристики раковины, поражённой сверлящей губкой, больше не используются в качестве критерия для таксономической верификации вида. Для уточнения видовой принадлежности используется анализ таких генетических маркеров, как гены малой рибосомной субъединицы 18S рРНК и 28S рРНК и субъединица I оксидазы цитохрома C (COI) [Borchiellini et al., 2004; Xavier et al., 2010].

### Распространение сверлящих губок

Губки семейства Clionaidae распространены в Западном Средиземноморье (33 вида) и Адриатическом море (23 вида), 14 видов встречаются в Эгейском море, 12 видов — в Ионическом море и 8 видов — в Левантийском море (рис. 1).



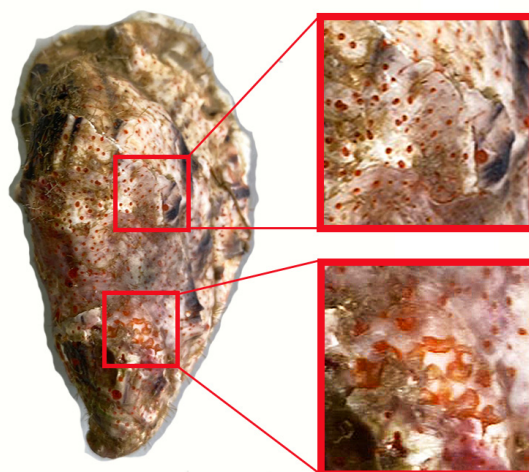
**Рис. 1.** Карта распространения сверлящих губок семейства Clionaidae (по материалам глобальной информационной системы о биоразнообразии GBIF)

В Мраморном море зарегистрировано 4 вида, а в Чёрном море на сегодняшний день присутствует 3 вида губок — *Cliona lobata* (Hancock, 1849), *Pione stationis* (Nassonow, 1883) (ранее *Cliona stationis*), *P. vastifica* (Evcen, Çınar, 2015). Сверлящие губки обнаружены в самых отдалённых регионах Мирового океана, включая тропические и субтропические зоны, а также в умеренных и арктических регионах. В то время как ареал *P. vastifica*, которая активно поражает тихоокеанских устриц в Черноморском регионе Российской Федерации, более узок и включает преимущественно умеренный пояс (рис. 1).

Сверлящие губки выбирают в качестве субстрата подводные известняковые объекты, такие как коралловые рифы, известковые водоросли и раковины моллюсков [Dunn, Eggleston, Lindquist, 2014; Kumar, 2016], однако в зонах с умеренным климатом губки обитают преимущественно на раковинах двустворчатых моллюсков [Carballo et al., 2013; Carballo, Bell, 2017; Dieudonne, Carroll, 2022]. Признаками сверления считаются перфорации на карбонатных поверхностях (ямки диаметром от 0,3 до 5 мм), в которых находится губка (обычно оранжево-рыжие пятна) (рис. 2).

Такие поверхностные перфорации часто видны как на внутренних, так и на внешних слоях раковин [Mao Che et al., 1996; Kingma, 2022; Sivan et al., 2023]. В исключительных случаях, при отсутствии признаков сверлящей губки на поверхностях в местах перфораций, она может обнаруживаться внутри субстрата [Sivan et al., 2023]. В литературе не были отмечены различия во внешних характеристиках перфорированных раковин в зависимости от вида губок, однако ранее проводилось исследование микроскопических узоров ямок, образуемых различными видами сверлящих губок, в котором отмечалось разнообразие типов орнаментации поверхности, при этом повторяемость рельефов и мотивов «узора» постоянна у разных родов, размер каналов может варьировать в пределах одного вида [Pulido Mantas et al., 2022].





**Рис. 2.** Раковины черноморской популяции тихоокеанских устриц *M. gigas* при поражении *P. vastifica*

### Пути и механизмы заражения моллюсков сверлящими губками

Несмотря на высокую актуальность, вопрос механизмов заражения двустворчатых моллюсков сверлящими губками всё ещё остаётся дискуссионным [Costello et al., 2021]. Так, Warburton с соавторами (1961) утверждали, что сверлящие губки распространяются между моллюсками при непосредственном контакте раковин. На основании этого наблюдения авторы высказали предположение, что культивируемые устрицы заражаются зимой, когда садки с моллюсками опускают на дно, где они контактируют с дикими популяциями моллюсков. Позже Rosell с соавторами (1999) также пришли к выводу, что заражение европейских устриц (*O. edulis*) в Средиземном море произошло главным образом в результате прямого контакта с дикими популяциями *C. viridis* и *C. celata*, растущими на известковом субстрате. С другой стороны, предварительные испытания в бухте Сэн-Симон (2004) показали, что от 80 до 100 % раковин устриц, помещённых в садки, заражаются в период с июня по октябрь. В этот период устричные садки находятся в толще воды, поэтому заражение не может быть связано с прямым контактом с дикими популяциями моллюсков. Однако это может указывать на другой возможный путь заражения: половое размножение, включающее распространение и заселение личинок губок, поскольку период активного полового размножения губок приходится с июня по ноябрь [Carroll et al., 2015; Stubler et al., 2017].

Сверлящие губки семейства Clionaidae могут быть гермафродитами или гонохорами, преимущественно яйцекладущими, однако их репродуктивные стратегии могут полностью отличаться [Maldonado, Riesgo, 2009; Piscitelli et al., 2011; Bautista-Guerrero, Carballo, Maldonado, 2014]. Внутреннее оплодотворение [Rosell, 1994] и выход оплодотворённых яиц [Mariani, Uriz, Turon, 2000] были зарегистрированы у представителей *C. viridis*, а также у личинок *P. stationis*, *C. celata* [Warburton, 1961; Mariani, Uriz, Turon, 2000] и *Cliona vermifera* (Hancock, 1867). Такая репродуктивная стратегия обеспечивает успешное оплодотворение и защиту эмбрионов на ранних стадиях развития, что повышает эффективность репродуктивного процесса [Bautista-Guerrero, Carballo, Maldonado, 2014]. Короткая продолжительность сперматогенеза, возможно, является общей чертой многих видов губок, что может объяснить, почему сперматогенез встречается реже, чем оогенез. После нереста губчатая ткань зон, ранее занятых семенными кистами, редуцируется до рыхлых нитей клеток, как сообщалось ранее [Rosell, 1994].

Бесполое размножение губок может происходить путем фрагментации, геммогенеза и почкования. Губкам семейства Clionaidae свойственно размножение путем геммогенеза [Ereskovsky et al., 2018] (рис. 3). Начальные стадии развития почек у Demospongiae представлены плотным конгломератом клеток на поверхности родительской губки (стадия 1). на этой стадии у почек отсутствуют водоносная система, камеры хоаноцитов, каналы и оскулы. Когда пропада оседает на субстрате (стадия 2), начинается развиваться водоносная система и происходит её рост и дальнейшее развитие. После чего цикл повторяется (стадия 3) [Piscitelli et al., 2011; Ereskovsky et al., 2018].

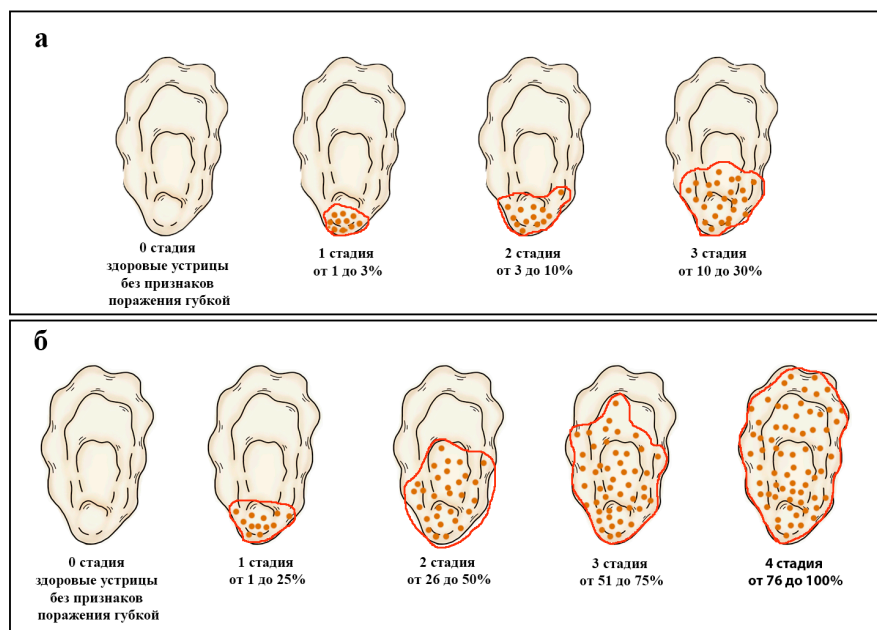


**Рис. 3.** Схема бесполого размножения сверлящей губки семейства Clionaidae (по данным статьи [Piscitelli et al., 2011] и статьи [Ereskovsky et al., 2018])

Считается, что сверлящие губки разрушают раковину в результате сочетания механического и химического воздействия [Dunn, Eggleston, Lindquist, 2014; Kingma, 2022]. Соотношение этих типов воздействия может варьироваться от 2 % химического и 98 % механического до 75 % химического и 25 % механического [De Bakker et al., 2018]. Губка прикрепляется к субстрату, после чего с помощью клеток травления «вытачивает» карбонат кальция [Zundeleovich, Lazar, Ilan, 2007]. Затем специализированные клетки сверлящих губок, амёбоциты с филоподиями точно снижают pH среды, чтобы способствовать растворению структурных элементов раковины и создавать полости, в которых растёт губка [Webb et al., 2017; Webb et al., 2019]. Выбор преобладающего метода проникновения губки в субстрат зависит от таких факторов, как тип субстрата, вид и возраст губки, длина каналов, содержание питательных веществ, температура воды и другие параметры окружающей среды [Neumann, 1966; Rützler, 1975; Schönberg, 2002; Rützler, 2002; Zundeleovich, Lazar, Ilan, 2007].

Согласно литературным данным, поражение раковин моллюсков всегда начинается возле замка и распространяется вверх [Carver, Thériault, Mallet, 2010; Carroll et al., 2015]. Однонаправленность распространения биоэрозии позволяет классифицировать стадии заражения раковины устрицы сверлящей губкой. В исследовании Daume с соавторами (2010) были выделены стадии поражения жемчужной устрицы *Pinctada maxima* (Jameson, 1901) сверлящими губками (рис. 4а). Площадь поражения раковины в этом исследовании не превышала 30 %. В других работах отмечается площадь эрозии раковины вплоть до 100 % [Гаевская, Лебедевская, 2010; Гаевская, Лебедевская, 2011; Лебедевская, 2013]. Такие особенности делают модель Daume неприменимой при анализе степени поражения моллюсков в других регионах Мирового Океана. Для устриц,

обитающих в черноморском регионе и поражённых сверлящей губкой, степень повреждения раковин может быть разделена на четыре стадии в зависимости от площади распространения сверлящей губки по раковине. Последняя стадия соответствует поражению 76–100 % от общей площади створок (рис. 4б) [Kladchenko et al., 2024]. Сложность исследования процесса заражения устриц обусловлена многофакторностью условий окружающей среды, которые могут косвенно повлиять на вероятность заражения и распространение губки внутри субстрата.



**Рис. 4.** Определение степени заражённости устриц сверлящей губкой, а — стадии поражения жемчужной устрицы *Pinctada maxima* (Jameson, 1901) сверлящими губками (по данным [Daume et al., 2010]), б — стадии поражения тихоокеанской устрицы *M. gigas* сверлящей губкой *P. vastifica* (по данным [Kladchenko et al., 2024])

### Факторы, влияющие на процесс заражения и распространения сверлящих губок

Любой стрессовый фактор окружающей среды может влиять на процессы взаимодействия между эпibiонтом-вредителем и организмом хозяина [Rützler, 2002; Schönberg, Ortiz, 2008; Schönberg, Fang, Carballo, 2017]. Следовательно, как скорость биоэрозии, так и сама вероятность заражения моллюска зависит от биотических и абиотических факторов окружающей среды [Rützler, 1975; Holmes, 2000; Wulff, 2012; Glynn, Manzello, 2015; Schönberg, Fang, Carballo, 2017; Wolfe, Kenyon, Mumby, 2021]. С точки зрения практической значимости информация об ограничивающих факторах для сверлящих губок может стать основой для разработки способов лечения моллюсков с признаками поражения сверлящей губкой.

Несмотря на то что устрицы чувствительны к недостатку кислорода [Andreyeva, Kladchenko, Kukhareva, 2021; Kladchenko, Andreyeva, Kukhareva, 2022], в том числе к гиперкапнической гипоксии, которая может возникать на литорали во время отлива, было установлено, что длительное воздействие воздуха снижает скорость распространения сверлящих губок *Cliona sp.* на раковине восточной устрицы *Crassostrea virginica* [Hanley et al., 2019; Dieudonne, Carroll, 2022]. С одной стороны, инкубация устриц на воздухе, с технической точки зрения, может стать недорогим и простым способом лечения устриц от сверлящих губок. С другой стороны, более ранние исследования показали, что приливно-отливные явления оказывают неоднозначное влияние

на функциональное состояние сверлящих губок, так как степень обсеменённости моллюсков наиболее распространёнными сверлящими губками — *C. celata* и *P. vastifica* — не снижается после длительного воздействия воздуха [Coleman, 2014]. Кроме того, длительная инкубация устриц на воздухе может привести к значительному изменению их функционального состояния: снижению способности к иммунному ответу, развитию окислительного стресса и, как следствие, гибели моллюска [Allen, Burnett, 2008; Kawabe et al., 2010; Gu et al., 2020].

Известно, что сверлящие губки способны выдерживать низкий уровень pH. Более того, в ряде исследований было установлено, что подкисление воды приводит к увеличению скорости распространения эпибионтов-вредителей. Лабораторные исследования показали, что снижение pH воды с 8,1 до 7,8 приводит к увеличению скорости биоэрозии в среднем в два раза [Duckworth, Peterson, 2013]. Натурные наблюдения влияния pH на скорость биоэрозии сверлящих губок на раковинах двусторчатых моллюсков не проводились. Однако исследования сверлящих губок на тропических рифах в условиях различного уровня pH показали более высокую скорость распространения эпибионтов в условиях низкого pH [Stubler, Furman, Peterson, 2014]. Duckworth и Peterson (2013) предположили, что снижение pH морской воды из-за глобального потепления может привести к увеличению скорости поражения моллюсков сверлящими губками.

В отечественных и зарубежных источниках литературы отмечена зависимость скорости биоэрозии и степени повреждения раковины сверлящей губкой от возраста моллюсков [Лебедевская, 2013; Гаевская, Лебедевская, 2010; Гаевская, Лебедевская, 2011; Mao Che et al., 1996]. Mao Che с соавторами (1996) определили, что у чёрных жемчужных устриц (*Pinctada margaritifera* var. *cumingi* (Jameson, 1901)) инфицирование губками рода *Pione* (*P. margaritiferae*, *P. vastifica*) проявляется через 1–3 года после первоначального заселения личинок, при этом скорость биоэрозии у однолетних моллюсков была в 36 раз выше, чем у представителей дикой популяции [Mao Che et al., 1996]. В свою очередь, Guida (1977) подсчитал, что площадь поражения раковины восточных устриц (*C. virginica*) сверлящими губками *C. celata* в Северной Каролине увеличилась на 49 % за 1 год, причём 41 % этого роста приходится на период с мая по июнь, когда температура воды превышает 20 °C [Guida, 1977; Carver, Thériault, Mallet, 2010].

Существенным лимитирующим фактором для сверлящих губок является уровень солёности. Считается, что губки распространены преимущественно в регионах с высокой солёностью, близкой к 30–35 ‰. Так, El-Sorogy с соавторами (2018) показали, что на участках акватории с более низкой солёностью случаи поражения моллюсков организмами, способными к биоэрозии, в том числе и сверлящими губками, значительно ниже по сравнению с участками, где зафиксирована стабильная высокая солёность. Низкая устойчивость сверлящих губок к опреснению обуславливает распространённую методику лечения моллюсков от поражения эпибионтами-вредителями при помощи обработки анизоосмотическим раствором [Dunn, Eggleston, Lindquist, 2014; Pourmozaffar et al., 2020].

Помимо факторов, незначительно влияющих или оказывающих непосредственное воздействие на функциональное состояние устриц, в литературе хорошо задокументированы факторы среды, не сопровождающиеся изменением скорости и степени биоэрозии. Так, температура воды [Carroll, Reitsma, 2025] и суточные ритмы [Zundeleovich, Lazar, Ilan, 2007; Wisshak et al., 2014; Fang et al., 2016] не влияют на скорость и процесс распространения сверлящих губок [Carroll, Reitsma, 2025]. Отсутствие влияния температуры воды авторы объясняют распространением данных эпибионтов-вредителей на разных глубинах, характеризующихся широким диапазоном температурных режимов, в том числе и на литорали.



## Реакция моллюсков на инвазию сверлящих губок

**1. Влияние инвазии на функциональное состояние моллюсков.** Известно, что губки семейства Clionaidae могут влиять на рост и общее функциональное состояние устриц. У устриц (*C. virginica*), заражённых сверлящей губкой, скорость роста снижается более чем на 50 % [Carroll et al., 2015], также наблюдается изменение общих пропорций устриц [Watts et al., 2018]. В работе Гаевской (2006) также было отмечено снижение скорости роста при поражении сверлящими губками черноморских мидий *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) [Гаевская, 2006]. Приводящие мышцы у устриц, поражённых сверлящей губкой, имеют серовато-коричневый оттенок, вялые и тягучие, уменьшены в размерах. Считается, что у заражённых моллюсков может наблюдаться повышенная хрупкость раковины, а также имеется сернистый запах, связанный с разложением губки после сбора урожая [Carver, Thériault, Mallet, 2010]. В другом исследовании было выявлено, что заселение раковины устриц *O. edulis* сверлящими губкам привело к снижению массы мягких тканей на 6–12 % [Крактица, 1979]. Заражение тихоокеанских устриц *M. gigas* сверлящей губкой *P. vastifica* привело к развитию окислительного стресса в тканях мантии, а также к повреждению ДНК в клетках моллюсков [Chelebieva et al., 2024]. Заражение восточной устрицы *C. virginica* сверлящей губкой (*Cliona* sp.) привело к ингибированию роста моллюсков на 20 % [Dieudonne, Carroll, 2022]. Помимо влияния на весовые и размерные характеристики моллюсков, заражение сверлящими губками может повлиять на структуру раковины. У улитки *Littorina littorea* (Linnaeus, 1758) в условиях заражения наблюдается увеличение толщины края раковины, а также усиленное отложение материала на внутренней стороне раковины [Stefaniak, McAtee, Shulman, 2005].

**2. Иммунные реакции и микробиом заражённых моллюсков.** В нескольких работах показано, что поражённые сверлящей губкой моллюски в большей степени подвержены микробному заражению [Лебедевская, 2013; Watts et al., 2018; Hanley et al., 2019], а также восприимчивы к другим патогенам [Speights, McCoy, 2017; Sreeremya, Shobana, 2018]. Губки являются фильтрующими организмами и подвергаются воздействию множества бактерий из окружающей среды. Тем не менее они поддерживают определённый микробный состав, отличающийся от микробного состава морской воды [Sacristán-Soriano, Turon, Hill, 2020], что, вероятно, может оказывать влияние на формирование микробиома моллюсков [Гаевская, Лебедевская, 2010; Гаевская, Лебедевская, 2011]. Так, в исследовании Копытиной и Лебедевской (2014) в раковине моллюсков, поражённых *P. vastifica*, обнаружено в 3 раза больше микроскопических грибов, в том числе патогенных [Копытина, Лебедевская, 2014]. По оценкам, в Канаде в 2005 г. 25–30 % культивируемых устриц были заражены сверлящей губкой, что привело к выбраковке пригодных для продажи особей [Carver, Thériault, Mallet, 2010]. В 2008 г. на ферме, расположенной в бухте Казачья (Севастополь), доля поражённых моллюсков 4-летнего возраста составила 64,2 %, в 2011 г. заражены оказались 79,3 % устриц, при этом площадь поражения раковины составила 100 % [Лебедевская, 2013; Гаевская, Лебедевская, 2010; Гаевская, Лебедевская, 2011].

**3. Защитные механизмы моллюсков.** Защитная система двустворчатых моллюсков включает в себя несколько барьеров [Hine, 1999; Canesi et al., 2002; McDowell et al., 2014; Zhang et al., 2014]. Раковина моллюска является первым физическим барьером, который защищает мягкие ткани от биологических и физико-химических воздействий [Simkiss, Wilbur, 1989; Suzuki, Nagasawa, 2013]. Следующим барьером считается мантия и слизистый слой [Allam, Raftos, 2015]. Поражение сверлящей губкой связано с повреждениями первого защитного барьера, вследствие чего морская вода свободно переносит множество микробных патогенов сквозь раковину, что сопровождается активацией иммунной защиты моллюска [Vaughn, Hoellein, 2018; Sousa, Hinzmann, 2020]. Внутренняя защита обеспечивается преимущественно компонентами неспецифической иммунной системы [Allam, Raftos, 2015]. Гемоциты являются основным компонентом гомеостаза

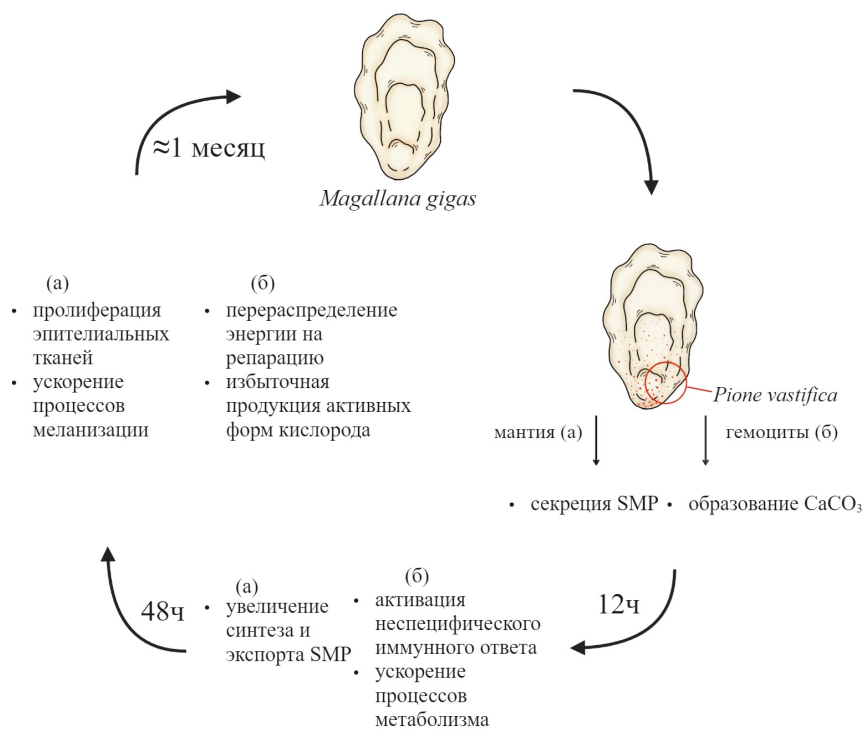
двустворчатых моллюсков, они участвуют во внутренней защите, восстановлении тканей и раковины, переваривании и транспортировке питательных веществ [Allam, Espinosa, 2016; Huiping, 2021; De la Ballina et al. и др., 2022]. При инвазии патогенов гемоциты могут мигрировать в поражённые участки организма и фагоцитировать инородные частицы [Allam, Espinosa, 2016]. Кроме того, поверхность мягких тканей двустворчатых моллюсков покрыта мукоидным секретом, содержащим широкий спектр антимикробных компонентов, включая дефензины, кателицидины, лизоцимы и иммуноглобулин А, что обеспечивает эффективную мукозальную иммунную защиту [Allam, Espinosa, 2015]. Защита организма моллюсков от инвазии патогенов после перфорации раковины может также осуществляться за счёт процессов меланизации — естественного процесса формирования раковины у моллюсков [Allam, Espinosa, 2015], в том числе при заживлении повреждений и инкапсуляции чужеродных организмов. Меланизация инородных тел у моллюсков иногда сопровождается механизмом биоминерализации, при котором меланизированные паразиты или патогены внедряются в новые кальцинированные слои раковины [Allam, Espinosa, 2015; Wang et al., 2022]. Кроме этого, эпителиальные клетки внешней и внутренней поверхностей мантии секретируют различные иммунные эффекторы, такие как лизосомальные ферменты, протеазы, ингибиторы протеаз и лектины, в ответ на инвазию патогенов [Allam, Espinosa, 2016].

**4. Восстановление раковины моллюсков.** Восстановление раковины у моллюсков представляет собой многоэтапный и сложный процесс, который зависит от различных факторов, таких как скорость роста организма, тип повреждения и реакции организма на него. Негативные эффекты, вызванные губками, связывают в первую очередь с компенсаторным ответом устриц на перфорацию раковины. Сверлящие губки активно разрушают раковину моллюсков, протравливая отверстия и постепенно захватывая призматический слой раковины, создавая в ней серию туннелей и камер [Pulido Mantas et al., 2022; Kingma, 2022; Böök, 2024]. В свою очередь, поражённые моллюски, как правило, компенсируют продвижение губки внутрь за счёт наращивания перламутрового слоя [Le Cam, Viard, 2011; Clark et al., 2020; Dieudonne, Carroll, 2022; Pyecroft, 2022]. Последнее требует больших затрат энергии, что в конечном итоге может привести к снижению скорости роста, репродуктивной способности и повышению риска заболевания другими инфекциями [Fromont et al., 2005; Stefaniak, McAtee, Shulman, 2005].

После перфорации раковины моллюски восстанавливают её путём отложения новых слоёв (рис. 5), чтобы защититься от случайных нарушений целостности раковины, сверления раковины эпибионтными организмами (в том числе губками), бактерий или хищников [Fleury et al., 2008; Taylor, 2016]. Раковины двустворчатых моллюсков состоят на 95–99 % из карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) и 1–5 % органического матрикса [De Paula, Silveira, 2009; Weiner, Addadi, 2011]. Органический матрикс образован комплексом полисахаридов, липидов и белков [Huang, Zhang, 2022]. На сегодняшний день существуют две модели формирования раковины моллюсков — матричная и клеточная [Zhang et al., 2012]. Матричная модель предполагает, что минерализация происходит в матриксе, секретируемом мантией [Marie et al., 2011; Kocot et al., 2016; Yarra, Blaxter, Clark, 2021] из хитина, фибриллярных белков шёлка и кислых белков [Furuhashi et al., 2009]. Клеточная модель предполагает, что биоминерализация является клеточно-опосредованной — кристаллы  $\text{CaCO}_3$  формируются в гемоцитах, а затем откладываются на границе минерализации [Mount et al., 2004; Zhang et al., 2012]. Наравне с гемоцитами важную роль в формировании раковины моллюска и процессах биоминерализации играет мантия [Johnstone et al., 2015; Ivanina et al., 2017]. Гемоциты при этом способствуют накоплению необходимых материалов для формирования раковины [Jacob et al., 2008].

Начальным этапом восстановления раковины является образование мембран, состоящих из хитина и матриксных белков раковины (SMP) [Hüning et al., 2016; Chen et al., 2018]. Другие исследователи обнаружили, что повреждение раковины вызывает образование кристаллов

карбоната кальция [Huang et al., 2023]. Спустя 12 часов после повреждения раковины происходит усиление синтеза и экспорта SMP к повреждённым участкам раковины, активация неспецифического иммунного ответа и ускорение процессов метаболизма [Xiong et al., 2021]. Процесс формирования раковины ускорился спустя 48 часов после повреждения вследствие перераспределения энергии на репарацию раковины моллюска, что обычно сопровождается избыточной продукцией активных форм кислорода (АФК). Также к этому времени наблюдалась пролиферация эпителиальных тканей мантии, чтобы восполнить потребность в синтезе SMP, и ускорение процессов меланизации [Wang et al., 2023].



**Рис. 5.** Основные биохимические реакции в механически повреждённых раковинах двустворчатых моллюсков (по данным [Xiong et al., 2021; Liao et al., 2023; Wang et al., 2023]).

Принято считать, что раковина двустворчатых моллюсков в среднем восстанавливается за месяц. Однако этот процесс может варьироваться в зависимости от множества факторов. В одном исследовании было обнаружено, что скорость восстановления раковины напрямую связана с тем, насколько быстро устрицы способны расти [Dorgan et al., 2021]. Например, триплоидные устрицы характеризуются более высокими темпами роста по сравнению с диплоидными. Фермеры, которые выращивают устриц *C. virginica* (Gmelin, 1791) на побережье Алабамы (США), отметили, что диплоидные устрицы, по сравнению с триплоидными, больше подвержены заражению другим представителем, способным к биоэрозии, — полидорой (*Polydora sp.*) [Dorgan et al., 2021]. У антарктического моллюска (*Laternula elliptica* (P. P. King, 1832)) восстановление раковины происходит в течение 2–4 месяцев за счёт образования нового материала внутри, однако повреждения остаются видимыми [Sleight et al., 2015]. на 1–7 день основным ответом является реакция стресса, активация иммунитета и биоминерализация. Примерно через 1 месяц после повреждения раковины моллюсков [Sleight et al., 2015], по-видимому, переключаются с производства энергии на биоминерализацию. Раковины моллюска *Lottia gigantea* (G. B. Sowerby I, 1834) восстанавливаются в течение 3 месяцев [Shanks, Wright, 1986]. Процессы восстановления раковины у *M. gigas* начинаются на 10-й день после повреждения [Yarra, Blaxter, Clark, 2021].

### Заключение

Распространение сверлящих губок семейства Clionaidae представляет серьёзную угрозу для объектов аквакультуры, особенно промысловых видов двустворчатых моллюсков. Данная работа систематизирует существующие данные о влиянии сверлящих губок на здоровье моллюсков, механизмах их инвазии и факторах, определяющих интенсивность биоэрозии. В результате анализа литературы было установлено, что сверлящие губки значительно ухудшают функциональное состояние моллюсков. В ответ на поражение моллюски активируют различные защитные механизмы, такие как биоминерализация и активация иммунного ответа. Эти процессы требуют значительных энергетических затрат, что приводит к снижению функциональной активности организма и, как следствие, к отложенным негативным последствиям для культивируемых видов и возможной массовой гибели моллюсков под действием сопутствующих стресс-факторов. Основным путём распространения губок является непосредственный контакт заражённых и здоровых особей. Интересно, что даже при тесном контакте в одном садке на марикультурных фермах может заражаться не 100 % популяции. Устойчивость ряда моллюсков к разрушающему действию эпибионтов-вредителей может быть связана с более эффективной стратегией восстановления раковины и предотвращением существенных повреждений раковины под действием эпибионта. Кроме того, ряд абиотических факторов может влиять на процесс заражения и скорость биоэрозии. Низкий уровень pH и высокая солёность усиливают распространение сверлящих губок, а низкая солёность снижает скорость биоэрозии. Для лечения двустворчатых, заражённых сверлящими губками, необходимо применять комплекс методов, таких как анизоосмотическая обработка, контроль параметров среды (pH и солёность), а также использование устойчивых видов моллюсков. Зависимость скорости биоэрозии и скорости распространения сверлящих губок от абиотических факторов среды подтверждает связь между изменением климатических условий и активным распространением сверлящих губок. Это подтверждает значимость регионального контроля за их распространением в контексте глобального изменения климата. Таким образом, для эффективного предотвращения распространения сверлящих губок и заражения моллюсков, а также для разработки эффективных стратегий развития марикультуры и минимизации последствий заражения необходимо продолжать исследования, направленные на изучение механизмов восстановления раковин, процессов биоэрозии и иммунного ответа двустворчатых моллюсков в ответ на инвазию сверлящих губок.

### Список литературы

1. Гаевская А. В. Паразиты, болезни и вредители мидий (*Mytilus*, *Mytilidae*). II. Моллюски (Mollusca). – Севастополь : ЭКОСИ–Гидрофизика, 2006. – 100 с. – <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/7876>
2. Гаевская А. В., Лебедовская М. В. Гигантская устрица (*Crassostrea gigas*) (Thunberg, 1793) – общая характеристика // Паразиты и болезни гигантской устрицы (*Crassostrea gigas*) в условиях культивирования / НАН Украины, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского. – Севастополь : ЭКОСИ–Гидрофизика, 2010. – Гл. 2. – С. 15-22. – <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/2578>
3. Гаевская А. В., Лебедовская М. В. Микробиологические и паразитологические аспекты биотехнологии культивирования гигантской устрицы (*Crassostrea gigas*) в Чёрном море // Промысловые биоресурсы Чёрного и Азовского морей / НАН Украины, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского. – Севастополь : ЭКОСИ–Гидрофизика, 2011. – Гл. 6.2. – С. 193–209. – <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/1363>



4. Копытина Н. И., Лебедевская М. В. Микромитеты–эпибионты гигантской устрицы *Crassostrea gigas*, культивируемой в Чёрном море // Морской экологический журнал. – 2014. – Т. 13, № 2. – С. 41–44. – <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/1341>
5. Кракатица Т. Ф. Сокращение ареала и уменьшение численности устриц в Егорлыцком заливе // Моллюски. Основные результаты их изучения : автореф. докл., сб. 6 / АН СССР, Зоол. ин-т. – Ленинград : Наука, 1979. – С. 112–114.
6. Лебедевская М. В. Морфометрические и микробиологические показатели гигантской устрицы *Crassostrea gigas* при поражении сверлящей губкой *Pione vastifica* // Морской экологический журнал. – 2013. – Т. 12, № 1. – С. 48–51. – <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/1262>
7. Шубникова Е. А. Технические средства выращивания гигантской устрицы // Биологическое разнообразие: изучение, сохранение, восстановление, рациональное использование : материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Керчь, 27–30 мая 2020 г. / Керчен. гос. мор. технол. ун-т [и др.]. – Симферополь : АРИАЛ, 2020. – С. 518–523. – <https://elibrary.ru/emdjok>
8. Alderman D. J. Epizootiology of *Marteilia refringens* in Europe // Marine Fisheries Review. – 1979. – Vol. 41, no. 1/2. – P. 67–69.
9. Allam B., Espinosa E. P. Bivalve immunity and response to infections: are we looking at the right place? // Fish & Shellfish Immunology. – 2016. – Vol. 53. – P. 4–12. – <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2016.03.037>
10. Allam B., Espinosa E. P. Mucosal immunity in mollusks // Mucosal Health in Aquaculture / Eds: B. H. Beck, E. Peatman. – Amsterdam [et. al.] : Acad. Press, 2015. – P. 325–370. – <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417186-2.00012-1>
11. Allam B., Raftos D. Immune responses to infectious diseases in bivalves // Journal of Invertebrate Pathology. – 2015. – Vol. 131. – P. 121–136. – <https://doi.org/10.1016/j.jip.2015.05.005>
12. Allen S. M., Burnett L. E. The effects of intertidal air exposure on the respiratory physiology and the killing activity of hemocytes in the pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg) // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. – 2008. – Vol. 357, iss. 2. – P. 165–171. – <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2008.01.013>
13. Andreyeva A. Y., Kladchenko E. S., Kukhareva T. A. Shift in functional and morphological parameters of the Pacific oyster hemocytes after exposure to hypoxia // Regional Studies in Marine Science. – 2021. – Vol. 48. – Art. no. 102062. – <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.102062>
14. Balouet G., Poder M., Cahour A. Haemocytic parasitosis: morphology and pathology of lesions in the French flat oyster, *Ostrea edulis* L. // Aquaculture. – 1983. – Vol. 34, iss. 1-2. – P. 1–14. – [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(83\)90287-9](https://doi.org/10.1016/0044-8486(83)90287-9)
15. Bautista-Guerrero E., Carballo J. L., Maldonado M. Abundance and reproductive patterns of the excavating sponge *Cliona vermicifera*: a threat to Pacific coral reefs? // Coral Reefs. – 2014. – Vol. 33. – P. 259–266. – <https://doi.org/10.1007/s00338-013-1094-1>
16. Behringer D. C., Wood C. L., Krkošek M., Bushek D. Disease in fisheries and aquaculture // Marine Disease Ecology / Eds: B. R. Silliman [et al.]. – Oxford : Oxford Univ. Press, 2020. – P. 183–212.
17. Bööck I. M. Boring sponges and bored oysters—interactions between the bioeroding sponge *Cliona* sp. and the New Zealand flat oyster *Ostrea chilensis* : Thesis / Victoria Univ. of Wellington. – Wellington, New Zealand, 2024. – 183 p.
18. Borchellini C., Chombard C., Manuel M., Alivon E., Vacelet J., Boury-Esnault N. Molecular phylogeny of Demospongiae: implications for classification and scenarios of character evolution // Molecular Phylogenetics and Evolution. – 2004. – Vol. 32, iss. 3. – P. 823–837. – <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2004.02.021>

19. Borchellini C., de Pao Mendonca K., Vernale A., Rocher C., Ereskovsky A., Vacelet J., Renard E. Porifera (sponges): recent knowledge and new perspectives // eLS [Encyclopedia of Life Sciences]. – Chichester : John Wiley & Sons, 2021. – Vol. 2. – P. 1–10. – <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0029283>
20. Botta R., Asche F., Borsum J. S., Camp E. V. A review of global oyster aquaculture production and consumption // Marine Policy. – 2020. – Vol. 117. – Art. no. 103952. – <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103952>
21. Boury-Esnault N., Klautau M., Bezac C., Wulff J., Sole-Cava A. M. Comparative study of putative conspecific sponge populations from both sides of the Isthmus of Panama // Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. – 1999. – Vol. 79, iss. 1. – P. 39–50. – <https://doi.org/10.1017/S0025315498000046>
22. Calcinai B., Bavestrello G., Cerrano C. Bioerosion micro-patterns as diagnostic characteristics in boring sponges // Bollettino dei Musei e degli Istituti Biologici dell'Università di Genova. – 2004. – Vol. 68. – P. 229–238.
23. Canesi L., Gallo G., Gavioli M., Pruzzo C. Bacteria–hemocyte interactions and phagocytosis in marine bivalves // Microscopy Research and Technique. – 2002. – Vol. 57, no. 6. – P. 469–476. – <https://doi.org/10.1002/jemt.10100>
24. Carballo J. L., Bautista E., Nava H., Cruz-Barraza J. A., Chávez J. A. Boring sponges, an increasing threat for coral reefs affected by bleaching events // Ecology and Evolution. – 2013. – Vol. 3, iss. 4. – P. 872–886. – <https://doi.org/10.1002/ece3.452>
25. Carballo J. L., Bell J. J. Climate change and sponges: an introduction // Climate Change, Ocean Acidification and Sponges: Impacts Across Multiple Levels of Organization / eds: J. L. Carballo, J. J. Bell. – Cham, Switzerland : Springer, 2017. – P. 1–11. – [https://doi.org/10.1007/978-3-319-59008-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-59008-0_1)
26. Carballo J. L., Cruz-Barraza J. A., Vega C., Nava H., Chávez-Fuentes M. D. C. Sponge diversity in eastern tropical Pacific coral reefs: an interoceanic comparison // Scientific Reports. – 2019. – Vol. 9, no. 1. – Art. no. 9409. – <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45834-4>
27. Carroll J. M., Shaughnessy K. A., Diedrich G. A., Finelli C. M. Are oysters being bored to death? Influence of *Cliona celata* on *Crassostrea virginica* condition, growth and survival // Diseases of Aquatic Organisms. – 2015. – Vol. 117, no. 1. – P. 31–44. – <https://doi.org/10.3354/dao02928>
28. Carroll J., Reitsma J. Fouling by *Cliona* (boring sponge) // Diseases of Bivalves / Ed. R. Smolowitz. – London [et al.] : Acad. Press, 2025. – P. 37–50. – <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820339-2.00010-3>
29. Carver C. E., Thériault I., Mallet A. L. Infection of cultured eastern oysters *Crassostrea virginica* by the boring sponge *Cliona celata*, with emphasis on sponge life history and mitigation strategies // Journal of Shellfish Research. – 2010. – Vol. 29, no. 4. – P. 905–915. – <https://doi.org/10.2983/035.029.0423>
30. Chelebieva E. S., Lavrichenko D. S., Gostyukhina O. L., Podolskaya M. S., Kladchenko E. S. The boring sponge (*Pionea vastifica*, Hancock, 1849) induces oxidative stress in the Pacific oyster (*Magallana gigas*, Thunberg, 1793) // Comparative Biochemistry and Physiology. Pt. B: Biochemistry and Molecular Biology. – 2024. – Vol. 273. – Art. no. 110980. – <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2024.110980>
31. Chen Y., Liu C., Li S., Liu Z., Xie L., Zhang R. Repaired shells of the pearl oyster largely recapitulate normal prismatic layer growth : A proteomics study of shell matrix proteins // ACS Biomaterials Science & Engineering. – 2018. – Vol. 5, iss. 2. – P. 519–529. – <https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.8b01355>

32. Chi Y., Yang H., Shi C., Yang B., Bai X., Li Q. Comparative transcriptome and gene co-expression network analysis identifies key candidate genes associated with resistance to summer mortality in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) // *Aquaculture*. – 2023. – Vol. 577. – Art. no. 739922. – <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739922>
33. Clark M. S., Peck L. S., Arivalagan J., Backeljau T., Berland S., Cardoso J. C. R., Caurcel C., Chapelle G., De Noia M., Dupont S., Gharbi K., Hoffman J. I., Last K. S., Marie A., Melzner F., Michalek K., Morris J., Power D. M., Ramesh K., Sanders T., Sillanpää K., Sleight V. A., Stewart-Sinclair P. J., Sundell K., Telesca L., Vendrami D. L. J., Ventura A., Wilding T. A., Yarra T., Harper E. M. Deciphering mollusc shell production: the roles of genetic mechanisms through to ecology, aquaculture and biomimetics // *Biological Reviews*. – 2020. – Vol. 95, no. 6. – P. 1812–1837. – <https://doi.org/10.1111/brv.12640>
34. Coates C. J., Söderhäll K. The stress-immunity axis in shellfish // *Journal of Invertebrate Pathology*. – 2021. – Vol. 186. – Art. no. 107492. – <https://doi.org/10.1016/j.jip.2020.107492>
35. Coleman S. E. The effects of boring sponge on oyster soft tissue, shell integrity, and predator-related mortality : Thesis / The Univ. of North Carolina. – Chapel Hill, 2014. – 54 p.
36. Costello K. E., Lynch S. A., O’Riordan R. M., McAllen R., Culloty S. C. The importance of marine bivalves in invasive host-parasite introductions // *Frontiers in Marine Science*. – 2021. – Vol. 8. – Art. no. 609248. – <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.609248>
37. Daume S., Fromont J., Parker F., Davidson M., Murphy D., Hart A. Quantifying sponge erosions in Western Australian pearl oyster shells // *Aquaculture Research*. – 2010. – Vol. 41, iss. 9. – P. e260–e267. – <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02518.x>
38. De Bakker D. M., Webb A. E., van den Bogaart L. A., van Heuve S. M., Meesters E. H., van Duyl F. C. Quantification of chemical and mechanical bioerosion rates of six Caribbean excavating sponge species found on the coral reefs of Curaçao // *PloS ONE*. – 2018. – Vol. 13, iss. 5. – Art. no. e0197824. – <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197824>
39. De la Ballina N. R., Maresca F., Cao A., Villalba A. Bivalve haemocyte subpopulations : a review // *Frontiers in Immunology*. – 2022. – Vol. 13. – Art. no. 826255. – <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.826255>
40. De Paula S. M., Silveira M. Studies on molluscan shells: contributions from microscopic and analytical methods // *Micron*. – 2009. – Vol. 40, iss. 7. – P. 669–690. – <https://doi.org/10.1016/j.micron.2009.05.006>
41. Dieudonne J., Carroll J. M. The impacts of boring sponges on oyster health across multiple sites and tidal heights // *Estuaries and Coasts*. – 2022. – Vol. 45, iss. 1. – P. 213–224. – <https://doi.org/10.1007/s12237-021-00942-1>
42. Dohrmann M., Collins A. G., Woerheide G. New insights into the phylogeny of glass sponges (Porifera, Hexactinellida): monophyly of Lyssacinosida and Euplectellinae, and the phylogenetic position of Euretidae // *Molecular Phylogenetics and Evolution*. – 2009. – Vol. 52, iss. 1. – P. 257–262. – <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2009.01.010>
43. Dorgan K. M., Moseley R. D., Titus E., Watson H., Cole S. M., Walton W. Dynamics of mud blister worm infestation and shell repair by oysters // *The Biological Bulletin*. – 2021. – Vol. 240, no. 2. – P. 118–131. – <https://doi.org/10.1086/713145>
44. Duckworth A. R., Peterson B. J. Effects of seawater temperature and pH on the boring rates of the sponge *Cliona celata* in scallop shells // *Marine Biology*. – 2013. – Vol. 160. – P. 27–35. – <https://doi.org/10.1007/s00227-012-2053-z>

45. Dunn R. P., Eggleston D. B., Lindquist N. Oyster-sponge interactions and bioerosion of reef-building substrate materials: implications for oyster restoration // Journal of Shellfish Research. – 2014. – Vol. 33, no. 3. – P. 727–738. – <https://doi.org/10.2983/035.033.0307>
46. Ehrlich H. The circle: biomineralization-demineralization-remineralization in nature // Marine Biological Materials of Invertebrate Origin / H. Ehrlich. – Cham, Switzerland : Springer, 2019. – P. 53–65. – [https://doi.org/10.1007/978-3-319-92483-0\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-92483-0_4)
47. El-Sorogy A. S., Alharbi T., Richiano S. Bioerosion structures in high-salinity marine environments: Evidence from the Al-Khafji coastline, Saudi Arabia // Estuarine, Coastal and Shelf Science. – 2018. – Vol. 204. – P. 264–272. – <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.03.005>
48. Elston R. A. Infectious diseases of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* // Annual Review of Fish Diseases. – 1993. – Vol. 3. – P. 259–276. – [https://doi.org/10.1016/0959-8030\(93\)90038-D](https://doi.org/10.1016/0959-8030(93)90038-D)
49. Encomio V. G., Stickler S. M., Allen S. K., Chu F. L. Performance of «natural Dermo-resistant» oyster stocks – survival, disease, growth, condition and energy reserves // Journal of Shellfish Research. – 2005. – Vol. 24, iss. 1. – P. 143–155.
50. Ereskovsky A., Kovtun O. A., Pronin K. K., Apostolov A., Erpenbeck D., Ivanenko V. Sponge community of the western Black Sea shallow water caves: diversity and spatial distribution // PeerJ. – 2018. – Vol. 6. – Art. no. e4596. – <https://doi.org/10.7717/peerj.4596>
51. Ereskovsky A., Lavrov A. Porifera // Invertebrate Histology / Ed. E. E. LaDouceur. – Hoboken, NJ : Wiley-Blackwell, 2021. – P. 19–54.
52. Erpenbeck D., Gholami A., Hesni M. A., Ranjbar M. S., Galitz A., Eickhoff B., Namuth L., Schumacher T., Esmaili H. R., Wörheide G., Teimori A. Molecular biodiversity of Iranian shallow water sponges // Systematics and Biodiversity. – 2020. – Vol. 18, iss. 2. – P. 192–202. – <https://doi.org/10.1080/14772000.2020.1737978>
53. Evcen A., Çınar M. E. Bioeroding sponge species (Porifera) in the Aegean Sea (Eastern Mediterranean) // Journal of the Black Sea / Mediterranean Environment. – 2015. – Vol. 21, no. 3. – P. 285–306.
54. Fang J. K. H., Schönberg C. H. L., Hoegh-Guldberg O., Dove S. Day – night ecophysiology of the photosymbiotic bioeroding sponge *Cliona orientalis* Thiele, 1900 // Marine Biology. – 2016. – Vol. 163. – Art. no. 100. – <https://doi.org/10.1007/s00227-016-2848-4>
55. Ferrario F., Calcinai B., Erpenbeck D., Galli P., Wörheide G. Two Pione species (Hadromerida, Clionaidae) from the Red Sea: a taxonomical challenge // Organisms Diversity & Evolution. – 2010. – Vol. 10. – P. 275–285. – <https://doi.org/10.1007/s13127-010-0027-x>
56. Fleury C., Marin F., Marie B., Luquet G., Thomas J., Josse C., Serpentine A., Lebel J. M. Shell repair process in the green ormer *Haliotis tuberculata*: a histological and microstructural study // Tissue and Cell. – 2008. – Vol. 40, iss. 3. – P. 207–218. – <https://doi.org/10.1016/j.tice.2007.12.002>
57. Fromont J., Craig R., Rawlinson L., Alder J. Excavating sponges that are destructive to farmed pearl oysters in Western and Northern Australia // Aquaculture Research. – 2005. – Vol. 36, iss. 2. – P. 150–162. – <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2004.01198.x>
58. Furuhashi T., Schwarzhinger C., Miksik I., Smrz M., Beran A. Molluscan shell evolution with review of shell calcification hypothesis // Comparative Biochemistry and Physiology Pt. B: Biochemistry and Molecular Biology. – 2009. – Vol. 154, iss. 3. – P. 351–371. – <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2009.07.011>
59. Glynn P. W., Manzello D. P. Bioerosion and coral reef growth: a dynamic balance // Coral Reefs in the Anthropocene



- / Ed. C. Birkeland. – Dordrecht [et al.] : Springer, 2015. – P. 67–97. – [https://doi.org/10.1007/978-94-017-7249-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-94-017-7249-5_4)
60. Gosling E. Marine Bivalve Molluscs. – 2nd ed. – Chichester, UK : John Wiley & Sons, 2015. – 536 p.
61. Gu Z., Wei H., Cheng F., Wang A., Liu C. Effects of air exposure time and temperature on physiological energetics and oxidative stress of winged pearl oyster (*Pteria penguin*) // Aquaculture Reports. – 2020. – Vol. 17. – Art. no. 100384. – <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100384>
62. Guida V. G. The physiological ecology of the oyster-burrowing sponge symbiosis and the roles of symbioses in marine systems : PhD diss. / North Carolina State Univ. – Raleigh, USA, 1977. – 147 p.
63. Hanley T. C., White J. W., Stallings C. D., Kimbro D. L. Environmental gradients shape the combined effects of multiple parasites on oyster hosts in the northern Gulf of Mexico // Marine Ecology Progress Series. – 2019. – Vol. 612. – P. 111–125. – <https://doi.org/10.3354/meps12849>
64. Hine P. M. The inter-relationships of bivalve haemocytes // Fish & Shellfish Immunology. – 1999. – Vol. 9, iss. 5. – P. 367–385. – <https://doi.org/10.1006/fsim.1998.0205>
65. Holmes K. E. Effects of eutrophication on bioeroding sponge communities with the description of new West Indian sponges, *Cliona* spp. (Porifera: Hadromerida: Clionidae) // Invertebrate Biology. – 2000. – Vol. 119, no. 2. – P. 125–138. – <https://doi.org/10.1111/j.1744-7410.2000.tb00001.x>
66. Hooper J. N. A., Van Soest R. W. M. Systema Porifera. A guide to the classification of sponges // System a Porifera : a Guide to the Classification of Sponges / Eds: J. N. A. Hooper [et al.]. – Boston : Springer, 2002. – P. 1–7. – [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0747-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0747-5_1)
67. Huang J., Liu Y., Jiang T., Dong W., Xie L., Zhang R. Direct control of shell regeneration by the mantle tissue in the pearl oyster *Pinctada fucata* // Journal of Structural Biology. – 2023. – Vol. 215, iss. 2. – Art. no. 107956. – <https://doi.org/10.1016/j.jsb.2023.107956>
68. Huang J., Zhang R. The mineralization of molluscan shells: some unsolved problems and special considerations // Frontiers in Marine Science. – 2022. – Vol. 9. – Art. no. 874534. – <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.874534>
69. Huiping Y. Immunological assays of hemocytes in molluscan bivalves as biomarkers to evaluate stresses for aquaculture // Bulletin of Japan Fisheries Research and Education Agency. – 2021. – No. 50. – P. 31–45.
70. Hüning A. K., Lange S. M., Ramesh K., Jacob D. E., Jackson D. J., Panknin U., Gutowska M. A., Philipp E. E. R., Rosenstiel P., Lucassen M., Melzner F. A shell regeneration assay to identify biomineralization candidate genes in mytilid mussels // Marine Genomics. – 2016. – Vol. 27. – P. 57–67. – <https://doi.org/10.1016/j.margen.2016.03.011>
71. Ivanina A. V., Falfushynska H. I., Beniash E., Piontkivska H., Sokolova I. M. Biomineralization-related specialization of hemocytes and mantle tissues of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* // Journal of Experimental Biology. – 2017. – Vol. 220, no. 18. – P. 3209–3221. – <https://doi.org/10.1242/jeb.160861>
72. Jacob D. E., Soldati A. L., Wirth R., Huth J., Wehrmeister U., Hofmeister W. Nanostructure, composition and mechanisms of bivalve shell growth // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2008. – Vol. 72, iss. 22. – P. 5401–5415. – <https://doi.org/10.1016/j.gca.2008.08.019>
73. Johnstone M. B., Gohad N. V., Falwell E. P., Hansen D. C., Hansen K. M., Mount A. S. Cellular orchestrated biomineralization of crystalline composites on implant surfaces by the eastern oyster, *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791) // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. – 2015. – Vol. 463. – P. 8–16. – <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2014.10.014>

74. Kawabe S., Takada M., Shibuya R., Yokoyama Y. Biochemical changes in oyster tissues and hemolymph during long-term air exposure // Fisheries Science. – 2010. – Vol. 76. – P. 841–855. – <https://doi.org/10.1007/s12562-010-0263-1>
75. Kingma E. The Role of the excavating sponge *Cliona celata* in oyster shells : master's thesis / Utrecht Univ. Netherlands. – Utrecht, 2022. – 30 p.
76. Kladchenko E. S., Andreyeva A. Y., Kukhareva T. A. effect of ranged short-term hypoxia on functional and morphological parameters of hemocytes in the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) // Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology. – 2022. – Vol. 58, no. 1. – P. 45–53. – <https://doi.org/10.1134/S0022093022010045>
77. Kladchenko E. S., Chelebieva E. S., Podolskaya M. S., Gostyukhina O. L., Gavrusheva T. V., Lavrichenko D. S. Effects of boring sponge *Pione vastifica* (Hancock, 1849) infestation on redox status and histological structure in Pacific oyster *Magallana gigas* (Thunberg, 1793) gills // Ecologica Montenegrina. – 2024. – Vol. 77. – P. 211–223. – <https://doi.org/10.37828/em.2024.77.21>
78. Kocot K. M., Aguilera F., McDougall C., Jackson D. J., Degnan B. M. Sea shell diversity and rapidly evolving secretomes: insights into the evolution of biomineralization // Frontiers in Zoology. – 2016. – Vol. 13. – Art. no. 23. – <https://doi.org/10.1186/s12983-016-0155-z>
79. Kumar P. S. Bioeroding sponges in aquaculture systems // Marine Sponges: Chemicobiological and Biomedical Applications / Eds: R. Pallela, H. Ehrlich. – Hyderabad, India : Springer, 2016. – P. 53–56. – [https://doi.org/10.1007/978-81-322-2794-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-81-322-2794-6_4)
80. Le Cam S., Viard F. Infestation of the invasive mollusc *Crepidula fornicata* by the native shell borer *Cliona celata*: a case of high parasite load without detrimental effects // Biological Invasions. – 2011. – Vol. 13. – P. 1087–1098. – <https://doi.org/10.1007/s10530-011-9958-1>
81. Liao Z., Liu F., Wang Y., Fan X., Li Y., He J., Buttino I., Yan X., Zhang X., Shi G. Transcriptomic response of *Mytilus coruscus* mantle to acute sea water acidification and shell damage // Frontiers in Physiology. – 2023. – Vol. 14. – Art. no. 1289655. – <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1289655>
82. Maldonado M., Riesgo A. Gametogenesis, embryogenesis, and larval features of the oviparous sponge *Petrosia ficiformis* (Haplosclerida, Demospongiae) // Marine Biology. – 2009. – Vol. 156. – P. 2181–2197. – <https://doi.org/10.1007/s00227-009-1248-4>
83. Mao Che L., Le Campion-Alsumar, T., Boury-Esnault N., Payri C., Golubic S., Bézac C. Biodegradation of shells of the black pearl oyster, *Pinctada margaritifera* var. *cumingii*, by microborers and sponges of French Polynesia // Marine Biology. – 1996. – Vol. 126. – P. 509–519. – <https://doi.org/10.1007/BF00354633>
84. Mariani S., Uriz M. J., Turon X. Larval bloom of the oviparous sponge *Cliona viridis*: coupling of larval abundance and adult distribution // Marine Biology. – 2000. – Vol. 137. – P. 783–790. – <https://doi.org/10.1007/s002270000400>
85. Marie B., Zanella-Cléon I., Guichard N., Becchi M., Marin F. Novel proteins from the calcifying shell matrix of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* // Marine Biotechnology. – 2011. – Vol. 13. – P. 1159–1168. – <https://doi.org/10.1007/s10126-011-9379-2>
86. Marine Benthic Fauna of Chilean Patagonia : Illustrated Identification Guide / Eds: V. Häussermann, G. Försterra – Santiago : Nature in Focus, 2009. – 1000 p.
87. McDowell I. C., Nikapitiya C., Aguiar D., Lane C. E., Istrail S., Gomez-Chiarri M. Transcriptome of American oysters, *Crassostrea virginica*, in response to bacterial challenge: insights into potential mechanisms of disease resistance // PLoS One. – 2014. – Vol. 9, iss. 8. – Art. e105097. – <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105097>

88. Molnar J. L., Gamboa R. L., Revenga C., Spalding M. D. Assessing the global threat of invasive species to marine biodiversity // *Frontiers in Ecology and the Environment*. – 2008. – Vol. 6, no. 9. – P. 485–492. – <https://doi.org/10.1890/070064>
89. Moor J., Ropicki A., Anderson J. L., Asche F. Stochastic modeling and financial viability of mollusk aquaculture // *Aquaculture*. – 2022. – Vol. 552. – Art. no. 737963. – <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.737963>
90. Morrow C., Cárdenas P. Proposal for a revised classification of the Demospongiae (Porifera) // *Frontiers in Zoology*. – 2015. – Vol. 12. – Art. no. 7. – <https://doi.org/10.1186/s12983-015-0099-8>
91. Mote S., Schönberg C. H., Samaai T., Gupta V., Ingole B. A new clionaid sponge infests live corals on the west coast of India (Porifera, Demospongiae, Clionaida) // *Systematics and Biodiversity*. – 2019. – Vol. 17, iss. 2. – P. 190–206. – <https://doi.org/10.1080/14772000.2018.1513430>
92. Mount A. S., Wheeler A. P., Paradkar R. P., Snider D. Hemocyte-mediated shell mineralization in the eastern oyster // *Science*. – 2004. – Vol. 304, no. 5668. – P. 297–300. – <https://doi.org/10.1126/science.1090506>
93. Neumann A. C. Observations on coastal erosion in Bermuda and measurements of the boring rate of the sponge, *Cliona lampa* 1, 2 // *Limnology and Oceanography*. – 1966. – Vol. 11, iss. 1. – P. 92–108. – <https://doi.org/10.4319/lo.1966.11.1.0092>
94. Pernet F., Lupo C., Bacher C., Whittington R. J. Infectious diseases in oyster aquaculture require a new integrated approach // *Philosophical Transactions of the Royal Society. B: Biological Sciences*. – 2016. – Vol. 371, no. 1689. – Art. no. 20150213. – <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0213>
95. Piscitelli M., Corriero G., Gaino E., Uriz M. J. Reproductive cycles of the sympatric excavating sponges *Cliona celata* and *Cliona viridis* in the Mediterranean Sea // *Invertebrate Biology*. – 2011. – Vol. 130, no. 1. – P. 1–10. – <https://doi.org/10.1111/j.1744-7410.2010.00216.x>
96. Pourmozaffar S., Tamadoni Jahromi S., Rameshi H., Sadeghi A., Bagheri T., Behzadi S., Gozari M., Reza Zahedi M., Abrari Lazarjani S. The role of salinity in physiological responses of bivalves // *Reviews in Aquaculture*. – 2020. – Vol. 12, iss. 3. – P. 1548–1566. – <https://doi.org/10.1111/raq.12397>
97. Pouvreau S., Lapègue S., Arzul I., Boudry P. Fifty years of research to counter the decline of the European flat oyster (*Ostrea edulis*): a review of French achievements and prospects for the restoration of remaining beds and revival of aquaculture production // *Aquatic Living Resources*. – 2023. – Vol. 36. – Art. no. 13. – <https://doi.org/10.1051/alr/2023006>
98. Pulido Mantas T., Bavestrello G., Bertolino M., Cerrano C., Pica D., Roveta C., Calcinaï B. A 3D innovative approach supporting the description of boring sponges of the precious red coral *Corallium rubrum* // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2022. – Vol. 10, iss. 7. – Art. no. 868. – <https://doi.org/10.3390/jmse10070868>
99. Pyecroft S. B. Shell-boring polychaetes (mudworms) and sponges affecting oysters, scallops, and abalone // *Aquaculture Pathophysiology* / Eds: F. S. B. Kibenge [et al.]. – London [et al.] : Acad. Press, 2022. – Vol. 2, chap. 77. – P. 583–591. – <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95434-1.00077-2>
100. Reveillaud J., Allewaert C., Pérez T., Vacelet J., Banaigs B., Vanreusel A. Relevance of an integrative approach for taxonomic revision in sponge taxa: case study of the shallow-water Atlanto-Mediterranean *Hexadella* species (Porifera: *Ianthellidae*: *Verongida*) // *Invertebrate Systematics*. – 2012. – Vol. 26, no. 3. – P. 230–248. – <https://doi.org/10.1071/IS11044>

101. Rosell D. Morphological and ecological relationships of two clionid sponges // *Ophelia*. – 1994. – Vol. 40, no. 1. – P. 37–50. – <https://doi.org/10.1080/00785326.1994.10429549>
102. Rosell D., Uriz M. J. Excavating and endolithic sponge species (Porifera) from the Mediterranean: species descriptions and identification key // *Organisms Diversity & Evolution*. – 2002. – Vol. 2, iss. 1. – P. 55–86. – <https://doi.org/10.1078/1439-6092-00033>
103. Rosell D., Uriz M. J. Phylogenetic relationships within the excavating Hadromerida (Porifera), with a systematic revision // *Cladistics*. – 1997. – Vol. 13, iss. 4. – P. 349–366. – <https://doi.org/10.1006/clad.1997.0047>
104. Rosell D., Uriz M. J., Martin D. Infestation by excavating sponges on the oyster (*Ostrea edulis*) populations of the Blanes littoral zone (north-western Mediterranean Sea) // *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. – 1999. – Vol. 79, iss. 3. – P. 409–413. – <https://doi.org/10.1017/S0025315498000526>
105. Rützler K. Impact of crustose clionid sponges on Caribbean reef corals // *Acta Geológica Hispánica*. – 2002. – Vol. 37, no. 1. – P. 61–72.
106. Rützler K. The role of burrowing sponges in bioerosion // *Oecologia*. – 1975. – Vol. 19, no. 3. – P. 203–216. – <https://doi.org/10.1007/BF00345306>
107. Sacristán-Soriano O., Turon X., Hill M. Microbiome structure of ecologically important bioeroding sponges (family Clionaidae): the role of host phylogeny and environmental plasticity // *Coral Reefs*. – 2020. – Vol. 39, iss. 5. – P. 1285–1298. – <https://doi.org/10.1007/s00338-020-01962-2>
108. Schönberg C. H. L. Substrate effects on the bioeroding demosponge *Cliona orientalis*. Bioerosion rates // *Marine Ecology*. – 2002. – Vol. 23, iss. 4. – P. 313–326. – <https://doi.org/10.1046/j.1439-0485.2002.02811.x>
109. Schönberg C. H. L., Fang J. K. H., Carballo J. L. Bioeroding sponges and the future of coral reefs // *Climate Change, Ocean Acidification and Sponges: Impacts Across Multiple Levels of Organization* / Eds: J. L. Carballo, J. J. Bell. – Cham, Switzerland : Springer, 2017. – P. 179–372. – [https://doi.org/10.1007/978-3-319-59008-0\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-59008-0_7)
110. Schönberg C. H. L., Ortiz J.-C. Is sponge bioerosion increasing // *Proceedings of the 11th International Coral Reef Symposium, Fort Lauderdale, Florida, USA, July 7–11, 2008* / Eds: B. Riegl, R. E. Dodge. – Davie, USA : Nat. Coral Reef Inst., 2008. – P. 520–523.
111. Šegvić-Bubić T., Žužul I., Talijančić I., Ugrin N., Lepen Pleić I., Žuvić L., Stagličić N., Grubišić L. Translocation and aquaculture impact on genetic diversity and composition of wild self-sustainable *Ostrea edulis* populations in the Adriatic Sea // *Frontiers in Marine Science*. – 2020. – Vol. 7. – Art. no. 84. – <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00084>
112. Shanks A. L., Wright W. G. Adding teeth to wave action: the destructive effects of wave-borne rocks on intertidal organisms // *Oecologia*. – 1986. – Vol. 69. – P. 420–428. – <https://doi.org/10.1007/BF00377065>
113. Simkiss K., Wilbur K. M. Biomineralization. Cell Biology and Mineral Deposition. – San Diego, USA : Acad. Press, 1989. – 327 p.
114. Sivan G., Vidyalakshmi D., Yesudas A., Priyaja P. Bioerosion traces of an endolithic clionaid sponge on the gastropod shell of *Tibia curta* Sowerby II, 1842 // *Marine Biodiversity*. – 2023. – Vol. 53, iss. 2. – Art. no. 26. – <https://doi.org/10.1007/s12526-023-01336-1>
115. Sleight V. A., Thorne M. A., Peck L. S., Clark M. S. Transcriptomic response to shell damage in the Antarctic clam, *Laternula elliptica*: time scales and spatial localisation // *Marine Genomics*. – 2015. – Vol. 20. – P. 45–55. – <https://doi.org/10.1016/j.margen.2015.01.009>



116. Sousa H., Hinzmann M. Review : Antibacterial components of the Bivalve's immune system and the potential of freshwater bivalves as a source of new antibacterial compounds // *Fish & Shellfish Immunology*. – 2020. – Vol. 98. – P. 971–80. – <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.10.062>
117. Speights C. J., McCoy M. W. Range expansion of a fouling species indirectly impacts local species interactions // *PeerJ*. – 2017. – Vol. 5. – Art. no. e3911. – <https://doi.org/10.7717/peerj.3911>
118. Sreeremya S., Shobana M. F. Sponge bioerosion : a review // *International Journal of Biochemistry and Biomolecules*. – 2018. – Vol. 4, iss. 1. – P. 1–7. – <https://doi.org/10.37628/ijbb.v4i1.267>
119. Stefaniak L. M., McAtee J., Shulman M. J. The costs of being bored: effects of a clionid sponge on the gastropod *Littorina littorea* (L) // *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. – 2005. – Vol. 327, iss. 1. – P. 103–114. – <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2005.06.007>
120. Stubler A. D., Furman B. T., Peterson B. J. Effects of p CO<sub>2</sub> on the interaction between an excavating sponge, *Cliona varians*, and a hermatypic coral, *Porites furcata* // *Marine Biology*. – 2014. – Vol. 161. – P. 1851–1859. – <https://doi.org/10.1007/s00227-014-2466-y>
121. Van In V., Ntalamagka N., O'Connor W., Wang T., Powell D., Cummins S. F., Elizur A. Reproductive neuropeptides that stimulate spawning in the Sydney Rock Oyster (*Saccostrea glomerata*) // *Peptides*. – 2016. – Vol. 82. – P. 109–119. – <https://doi.org/10.1016/j.peptides.2016.06.007>
122. Stubler A. D., Robertson H., Styron H. J., Carroll J. M., Finelli C. M. Reproductive and recruitment dynamics of clionaid sponges on oyster reefs in North Carolina // *Invertebrate Biology*. – 2017. – Vol. 136, no. 4. – P. 365–378. – <https://doi.org/10.1111/ivb.12188>
123. Suzuki M., Nagasawa H. Mollusk shell structures and their formation mechanism // *Canadian Journal of Zoology*. – 2013. – Vol. 91, no. 6. – P. 349–366. – <https://doi.org/10.1139/cjz-2012-0333>
124. Taylor D. Impact damage and repair in shells of the limpet *Patella vulgata* // *Journal of Experimental Biology*. – 2016. – Vol. 219, no. 24. – P. 3927–3935. – <https://doi.org/10.1242/jeb.149880>
125. Van Soest R. W., Boury-Esnault N., Vacelet J., Dohrmann M., Erpenbeck D., De Voogd N. J., Santodomingo N., Vanhoorne B., Kelly M., Hooper J. N. Global diversity of sponges (Porifera) // *PLoS one*. – 2012. – Vol. 7, iss. 4. – Art. e35105. – <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035105>
126. Vaughn C. C., Hoellein T. J. Bivalve impacts in freshwater and marine ecosystems // *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. – 2018. – Vol. 49, no. 1. – P. 183–208. – <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110617-062703>
127. Wang X., Li P., Cao X., Liu B., He S., Cao Z., Xing S., Liu L., Li Z. H. Effects of ocean acidification and tralopyril on bivalve biomineralization and carbon cycling: a study of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) // *Environmental Pollution*. – 2022. – Vol. 313. – Art. no. 120161. – <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120161>
128. Wang Y., Mao J., Fan Z., Hang Y., Tang A., Tian Y., Wang X., Hao Z., Han B., Ding J., Chang Y. Transcriptome analysis reveals core lncRNA-mRNA networks regulating melanization and biomineralization in *Patinopecten yessoensis* shell-infested by *Polydora* // *BMC Genomics*. – 2023. – Vol. 24, no. 1. – Art. no. 723. – <https://doi.org/10.1186/s12864-023-09837-w>
129. Warburton F. E. Inclusion of parental somatic cells in sponge larvae // *Nature*. – 1961. – Vol. 191, no. 4795. – P. 1317. – <https://doi.org/10.1038/1911317a0>
130. Watts J. C., Carroll J. M., Munroe D. M., Finelli C. M. Examination of the potential relationship between boring sponges and pea crabs and their effects on eastern oyster condition // *Diseases of Aquatic Organisms*. – 2018. – Vol. 130, iss. 1. – P. 25–36. – <https://doi.org/10.3354/dao03257>

131. Webb A. E., Pomponi S. A., van Duyl F. C., Reichart G. J., de Nooijer L. J. pH regulation and tissue coordination pathways promote calcium carbonate bioerosion by excavating sponges // *Scientific Reports*. – 2019. – Vol. 9, no. 1. – Art. no. 758. – <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36702-8>
132. Webb A. E., van Heuven S. M., de Bakker D. M., van Duyl F. C., Reichart G. J., Nooijer L. J. Combined effects of experimental acidification and eutrophication on reef sponge bioerosion rates // *Frontiers in Marine Science*. – 2017. – Vol. 4. – Art. no. 311. – <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00311>
133. Weiner S., Addadi L. Crystallization pathways in biomineralization // *Annual Review of Materials Research*. – 2011. – Vol. 41, no. 1. – P. 21–40. – <https://doi.org/10.1146/annurev-matsci-062910-095803>
134. Wisshak M., Schönberg C. H., Form A., Freiwald A. Sponge bioerosion accelerated by ocean acidification across species and latitudes? // *Helgoland Marine Research*. – 2014. – Vol. 68. – P. 253–262. – <https://doi.org/10.1007/s10152-014-0385-4>
135. Wolfe K., Kenyon T. M., Mumby P. J. The biology and ecology of coral rubble and implications for the future of coral reefs // *Coral Reefs*. – 2021. – Vol. 40, no. 6. – P. 1769–1806. – <https://doi.org/10.1007/s00338-021-02185-9>
136. Wörheide G., Dohrmann M., Erpenbeck D., Larroux C., Maldonado M., Voigt O., Borchellini C., Lavrov D. V. Deep phylogeny and evolution of sponges (phylum Porifera) // *Advances in Marine Biology*. – 2012. – Vol. 61. – P. 1–78. – <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387787-1.00007-6>
137. Wörheide G., Erpenbeck D., Menke C. The Sponge Barcoding Project: aiding in the identification and description of poriferan taxa // *Porifera Research: Biodiversity, Innovation and Sustainability* / Eds: M. R. Custódio [et al.]. – Rio de Janeiro : Museu Nacional, 2007. – P. 123–128. – (Série Livros ; 28).
138. Wulff J. Ecological interactions and the distribution, abundance, and diversity of sponges // *Advances in Marine Biology*. – 2012. – Vol. 61. – P. 273–344. – <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387787-1.00003-9>
139. Wulff J. L. Ecological interactions of marine sponges // *Canadian Journal of Zoology*. – 2006. – Vol. 84, no. 2. – P. 146–166. – <https://doi.org/10.1139/Z06-019>
140. Xavier J. R., Rachello-Dolmen P. G., Parra-Velandia F., Schönberg C. H. L., Breeuwer J. A. J., Van Soest R. W. M. Molecular evidence of cryptic speciation in the «cosmopolitan» excavating sponge *Cliona celata* (Porifera, Clionidae) // *Molecular Phylogenetics and Evolution*. – 2010. – Vol. 56, iss. 1. – P. 13–20. – <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2010.03.030>
141. Xiong X., Cao Y., Li Z., Jiao Y., Du X., Zheng Z. Transcriptome analysis reveals the transition and crosslinking of immune response and biomineralization in shell damage repair in pearl oyster // *Aquaculture Reports*. – 2021. – Vol. 21. – Art. no. 100851. – <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100851>
142. Yarra T., Blaxter M., Clark M. S. A bivalve biomineralization toolbox // *Molecular Biology and Evolution*. – 2021. – Vol. 38, no. 9. – P. 4043–4055. – <https://doi.org/10.1093/molbev/msab153>
143. Zhai S., Yang B., Zhang F., Li Q., Liu S. Estimation of genetic parameters for resistance to *Vibrio alginolyticus* infection in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) // *Aquaculture*. – 2021. – Vol. 538. – Art. 736545. – <https://doi.org/10.1016/j.aquacultural.2021.736545>
144. Zhang G., Fang X., Guo X., Li L. I., Luo R., Xu F., Yang P., Zhang L., Wang X., Qi H., Xiong Z., Que H., Xie Y., Holland P. W. H., Paps J., Zhu Y., Wu F., Chen Y., Wang J., Peng C., Meng J., Yang L., Liu J., Wen B., Wang J. The oyster genome reveals stress adaptation and complexity of shell formation // *Nature*. – 2012. – Vol. 490, no. 7418. – P. 49–54. – <https://doi.org/10.1038/nature11413>

145. Zhang T., Qiu L., Sun Z., Wang L., Zhou Z., Liu R., Yue F., Sun R., Song L. The specifically enhanced cellular immune responses in Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) against secondary challenge with *Vibrio splendidus* // Developmental & Comparative Immunology. – 2014. – Vol. 45, no. 1. – P. 141–150. – <https://doi.org/10.1016/j.dci.2014.02.015>
146. Zundeleovich A., Lazar B., Ilan M. Chemical versus mechanical bioerosion of coral reefs by boring sponges – lessons from *Pione cf. Vastifica* // Journal of Experimental Biology. – 2007. – Vol. 210, no. 1. – P. 91–96. – <https://doi.org/10.1242/jeb.02627>

## INFESTATION OF OYSTER SHELLS BY BORING SPONGES OF THE FAMILY CLIONAIDAE: A THREAT TO AQUACULTURE

Podolskaya M. S., Lavrichenko D. S., Chelebieva E. S., Kladchenko E. S.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,  
e-mail: [podolskaya\\_m99@bk.ru](mailto:podolskaya_m99@bk.ru)

**Abstract:** Recently, increasing attention has been given to the settlement issue by harmful epibionts, such as sponges of the Clionaidae family, on mollusk shells. This concern is due to their negative impact on key mariculture species, particularly Pacific oysters (*Magallana gigas* (Thunberg, 1793)). Infected individuals are removed from commercial circulation, leading to financial losses in mariculture operations. Affected oysters exhibit reduced growth rates, decreased soft tissue mass, and increased mortality rates within the population. Additionally, infected individuals often harbor pathogenic microorganisms harmful to humans. Despite the clear fundamental and practical importance of this issue, information on the mechanisms by which boring sponges affect the functional state of bivalve mollusks remains limited, fragmented, and unsystematized. Comprehensive analysis and systematization of available data could aid in developing integrated measures to prevent infection, mitigate negative impacts, and devise treatment methods for bivalve mollusks affected by boring sponges. This review aims to update and systematize information on the distribution of boring sponges of the Clionaidae family, their effects on bivalve mollusks and Pacific oysters specifically, and the economic consequences of sponge infestations on mariculture species.

**Keywords:** aquaculture, Pacific oyster, bivalve, biomineralization, boring sponge, Clionaidae

### Сведения об авторах

|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Подольская Мария Сергеевна    | младший научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация, <a href="mailto:podolskaya_m99@bk.ru">podolskaya_m99@bk.ru</a>                                      |
| Лавриченко Дарья Сергеевна    | младший научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация, <a href="mailto:lavrichenko_daria@ibss-ras.ru">lavrichenko_daria@ibss-ras.ru</a>                    |
| Челебиева Элина Сергеевна     | кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация, <a href="mailto:e.chelebieva@ibss-ras.ru">e.chelebieva@ibss-ras.ru</a> |
| Кладченко Екатерина Сергеевна | кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация, <a href="mailto:kladchenko@ibss-ras.ru">kladchenko@ibss-ras.ru</a>     |

Поступила в редакцию 01.10.2024 г.  
Принята к публикации 17.03.2025 г.

## ХРОНИКА

УДК 550.8+502/504

DOI: [10.21072/eco.2025.10.2.06](https://doi.org/10.21072/eco.2025.10.2.06)

### К ЮБИЛЕЮ ИЗВЕСТНОГО УЧЁНОГО И. А. КЕРИМОВА

Гагаева З. Ш.<sup>1,2</sup>, Горбунов Р. В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Академия наук Чеченской Республики, г. Грозный, Российская Федерация,

<sup>2</sup>ГГНТУ имени академика М. Д. Миллионщикова, г. Грозный, Российская Федерация,

<sup>3</sup>ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,

г. Севастополь, Российская Федерация,

e-mail: [zsh\\_gagaeva@mail.ru](mailto:zsh_gagaeva@mail.ru)

**Аннотация:** Статья посвящена юбилею известного российского учёного, доктора физико-математических наук, профессора Ибрагима Ахмедовича Керимова. Его научная и научно-педагогическая деятельность на протяжении многих лет связана с Чеченской Республикой. И. А. Керимов принимал активное участие в формировании грозненской научной школы геологов и геофизиков, которая в настоящее время возрождается благодаря его участию и руководству. По инициативе и под непосредственным руководством И. А. Керимова изданы коллективные монографии, сборники трудов конференций, проведены научные мероприятия высокого уровня, в том числе с участием иностранных учёных и специалистов. В научном сообществе И. А. Керимов известен как талантливый организатор и руководитель. Большое внимание Ибрагим Ахмедович уделяет молодым учёным, которых он умеет привлечь к научно-исследовательской работе.

**Ключевые слова:** юбилей, учёный, исследования, геология, геофизика, Кавказ

Осенью 2025 г. доктор физико-математических наук, профессор, Заслуженный геолог РФ Ибрагим Ахмедович Керимов будет отмечать свой очередной юбилей — 70 лет со дня рождения. Каждый юбилей учёного — это очередные достижения и результаты научно-исследовательской деятельности. У И. А. Керимова таких достижений немало. И они являются результатом его неиссякаемой энергии и трудолюбия.

Будущий учёный родился 15 сентября 1955 г. в с. Чарское Чарского р-на Семипалатинской области (ныне Жарминский район Абайской области Казахстана), в годы депортации чеченцев и ингушей. Научная и научно-педагогическая деятельность И. А. Керимова началась ещё в студенческие годы. В 1972 г. он поступает на геолого-разведочный факультет Грозненского нефтяного института имени академика М. Д. Миллионщикова по специальности «геофизические методы поисков и разведки». В ходе учёбы он продемонстрировал тягу к исследовательской работе. Первая научная работа была выполнена им ещё в студенческие годы. Его трудовая деятельность началась с должности





лаборанта лаборатории гравиразведки и магниторазведки. В 1977 г. талантливый выпускник оставляет на кафедре промысловой и разведочной геофизики в должности инженера, в 1978 г. переводят на должность младшего научного сотрудника. В ходе работы формируются представления об исследовательской работе, благодаря чему он выбирает основное направление научных исследований — геологическую интерпретацию геофизических полей нефтегазоносных регионов.

В 1980 г. Керимов И. А. поступает в аспирантуру по специальности «геология нефти и газа». Его научным руководителем был выдающийся учёный, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Заслуженный геолог РСФСР Б. К. Лотиев (1911–1991). Общение с ним способствовало в дальнейшем формированию и развитию научных взглядов молодого учёного. И это были очень плодотворные годы. В это время И. А. Керимов разработал метод вычисления высших производных гравитационно-магнитных полей на основе аппроксимаций двумерными полиномами, который был реализован в компьютерной программе. От предыдущих зарубежных и отечественных методов данный метод отличался точностью и устойчивостью к ошибкам в исходных геофизических данных. На основе применения этого метода И. А. Керимов обработал геофизические поля Краснодарского края, в результате чего были построены карты трансформант геофизических полей (М 1:200 000) в целом по региону Западного Предкавказья. По результатам геологической интерпретации была составлена карта разломов региона (М 1:500 000), на которой был выделен ранее неизвестный Приморский разлом. На основе полученных о геологическом строении Западного Предкавказья новых данных были выделены новые нефтегазоперспективные зоны. Результаты данных исследований были внедрены в ряде нефтегазовых организаций Краснодарского края, последующая практика поисково-разведочных работ на нефть и газ подтвердила эти выводы. После успешного окончания аспирантуры (1984 г.) И. А. Керимов (в том же году) защищает диссертацию «Геологическая интерпретация геофизических полей Западного Предкавказья в связи с перспективами нефтегазоносности» на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук.

В эти же годы И. А. Керимов занимается компьютерной обработкой геофизической информации по территории Чеченской Республики. Так, по результатам комплексной геолого-гравиметрической интерпретации по Карабулак-Ачалукской площади была построена структурная карта по верхнемеловым отложениям в зоне отсутствия сейсмической информации. На основе результатов интерпретации этих материалов в отложениях верхнего мела была выделена Северо-Серноводская нефтегазоперспективная структура с последующей рекомендацией к бурению на нефть и газ. По итогам этих исследований ПО «Грознефть» заложил на данной нефтегазоперспективной площади глубокую скважину. Работа была удостоена премии Ленинского комсомола Республики в области науки и техники.

В 1987 г. И. А. Керимову присваивают учёное звание доцента по кафедре прикладной геодезии, а в сентябре 1989 г. он переходит на кафедру промысловой и разведочной геофизики, где работает в должности доцента до 1991 г. В этот же период работал деканом по работе с иностранными студентами. Одним из основных направлений научных исследований Ибрагима Ахмедовича становится изучение разломной тектоники по геофизическим данным. Карты разломов Западного Предкавказья и Терско-Каспийского прогиба, составленные Керимовым И. А., использовались им для изучения связей разломной тектоники с нефтегазоносностью и сейсмичностью регионов. В 1992 г. Ибрагим Ахмедович был избран заведующим кафедрой прикладной геодезии.

В 1992 г. Керимов И. А. назначается проректором по учебной работе ГНИ им. акад. М. Д. Миллионщикова, а в 1994 г. — первым проректором. В самое тяжёлое время для Чеченской Республики, в период военной кампании (1994–1996 гг.), И. А. Керимов, будучи проректором

по учебной работе ГНИ им. академика М. Д. Миллионщикова, не покидал г. Грозный, приложил большие усилия для сохранения научно-педагогического и материально-технического потенциала вуза. С 1996 по 1997 г. И. А. Керимов занимает должность ректора ГНИ имени академика М. Д. Миллионщикова.

В 1998 г. он поступает в докторантуру при Объединённом институте физики Земли имени О. Ю. Шмидта РАН (ОИФЗ РАН), его научным консультантом был академик В. Н. Страхов (1932–2012). В это время И. А. Керимов продолжает исследования по совершенствованию методов интерпретации геофизических полей. Им разработан метод F-аппроксимации, основанный на методе линейных интегральных представлений В. Н. Страхова. Метод реализован в пакете компьютерных программ. Метод F-аппроксимаций является уникальным методом спектрального анализа геофизических полей, заданных на нерегулярной сети с учётом разноточности измерений. Этот метод апробирован на большом количестве модельных и реальных материалов в разных регионах нашей страны. По результатам этих исследований в марте 2004 г. он защищает диссертацию «Метод F-аппроксимаций при решении задач гравиметрии и магнитометрии» на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.10 «геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых». Научные исследования, посвящённые данному направлению, опубликованы в ряде статей и монографий [Страхов, Керимов, Степанова, 2009; Керимов, 2011].

В самое сложное время, 30 марта 2000 г., приказом Министерства образования РФ Керимов И. А. был назначен ректором Грозненского нефтяного института имени академика М. Д. Миллионщикова, а в 2001 г. был утверждён приказом Министерства образования РФ в данной должности. Ибрагим Ахмедович проявил свои организаторские качества. Перед ним стояла сложнейшая задача — возрождение Института, разрушенного во время трагических событий в Чеченской Республике. Благодаря его усилиям в кратчайшие сроки удалось восстановить учебную, научно-исследовательскую и материально-техническую базу вуза. И. А. Керимов руководил также отделом геологии, геофизики и геоэкологии, который был создан по его инициативе в 2002 г. в Комплексном научно-исследовательском институте им. Х. И. Ибрагимова РАН. В 2004 г. И. А. Керимов избирается членом-корреспондентом Академии наук Чеченской Республики, в 2007 г. — действительным членом (академиком) Академии наук Чеченской Республики. С апреля 2006 г. по ноябрь 2007 г. Керимов И. А. занимает должность ректора ГГНТУ имени академика М. Д. Миллионщикова. Затем он переходит на научную работу в системе РАН (ИФЗ РАН). С 2009 г. И. А. Керимов руководит созданным в Академии наук Чеченской Республики отделом наук о Земле.

29 мая 2012 г. постановлением Президиума РАН И. А. Керимов утверждён членом Российского Пагуошского комитета при Президиуме РАН. Огромную работу Ибрагим Ахмедович проводит, будучи членом Пагуошского комитета. Под его руководством в апреле 2010 года в г. Грозном прошёл Первый Межрегиональный Пагуошский симпозиум «Наука и высшая школа Чеченской Республики: перспективы развития межрегионального и международного научно-технического сотрудничества». В июне 2012 г. под эгидой Российского Пагуошского комитета в г. Владикавказе был проведён научный симпозиум по вопросам межрегионального и международного сотрудничества, в котором приняли участие учёные из научных центров Северного Кавказа, Армении, Азербайджана и Грузии.

В июле 2011 г. И. А. Керимов принял участие в работе 59-й Пагуошской конференции учёных, состоявшейся в г. Берлине (Германия), на которой он выступил с докладом по проблемам геоэкологии. В 2013 г. в Грозном Российским Пагуошским комитетом совместно с Чеченским государственным университетом организованы и проведены IV Ротблатовские научные чтения «Академические географические исследования на Кавказе: история и современность». Инициатива по проведению этих мероприятий принадлежала И. А. Керимову.

Круг научных интересов Керимова И. А. широк и многогранен. Под его руководством были подготовлены справочники и монографии по полезным ископаемым Чеченской Республики [Полезные ископаемые ... , 2009; Геология и перспективы ... , 2010; Геология нефтяных ... , 2010; Минерально-сырьевые ресурсы ... , 2015]. В сферу научных интересов юбиляра входит также изучение потенциала возобновляемых источников энергии на юге России, вопросы истории наук о Земле. В последние годы он активно сотрудничает с Институтом истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова (ИИЕТ РАН). По результатам этих исследований им опубликован ряд статей по истории геолого-геофизических исследований Кавказа, истории изучения природы Северного Кавказа и др. [Владимир Николаевич Страхов, 2012; Михаил Дмитриевич Миллионщиков ... , 2014; Очерки истории ... , 2022].

Под научным руководством И. А. Керимова защищены докторские и кандидатские диссертации. По инициативе И. А. Керимова в 2019 г. был создан единственный на юге России диссертационный совет по геоэкологии. Он является заместителем председателей диссертационных советов при ИИЕТ им. С. И. Вавилова РАН, а также объединённого диссертационного совета на базе Владикавказского научного центра РАН, ГГНТУ имени академика М. Д. Миллионщикова и ЧГУ имени А. А. Кадырова. Неоднократно выступал официальным оппонентом по многим диссертациям.

По инициативе Ибрагима Ахмедовича в 2011 г. была проведена Первая Всероссийская научно-техническая конференция «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа», которая в дальнейшем стала ежегодной, традиционной. С 2011 г. форумы проводятся в разных городах Северного Кавказа, уже состоялось 14 конференций, благодаря чему создана крупная научно-исследовательская платформа для российских и зарубежных учёных и специалистов в области геологии, геофизики и геоэкологии. По материалам конференции издаются сборники трудов (I–XIV тома, 2011–2024 гг.). Осенью 2025 г. запланировано проведение очередной, XV конференции «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа» (ГЕОКАВКАЗ – 2025), которая будет иметь статус международной научной конференции.

Круг научных интересов Ибрагима Ахмедовича постоянно расширяется. С 1995 г. он активно занимается исследованиями в области геоэкологии. В 1996 г. по его инициативе была создана кафедра экологии, которой он заведовал до 1997 г. По результатам исследований опубликован ряд работ, в том числе монография [Керимов, Уздиева, 2008].

В настоящее время под руководством И. А. Керимова возрождается грозненская школа геологов и геофизиков, которая в своё время появилась благодаря развитию нефтяной отрасли в Чеченской Республике и распалась в начале 1990-х годов.

И. А. Керимов является научным руководителем первого карбонового полигона, созданного на юге России (в Чеченской Республике). Основные задачи карбоновых полигонов — испытание технологий дистанционного и наземного контроля эмиссии (выделения) парниковых газов в атмосферу и их секвестрации (поглощения, депонирования) биомассой и почвами в разных природных экосистемах. Изучению данных вопросов посвящён ряд работ, и в настоящее время эти исследования относятся к числу ведущих на Северном Кавказе [Керимов, Эльжаев, Додуев, 2023; Керимов, Гайрабеков, Махмудова, 2021; Керимов и др., 2022; Сатосина и др., 2023; Керимов, Братков, Бекмурзаева, 2023].

В течение ряда лет Керимов И. А. являлся членом Совета РАН по координации деятельности региональных отделений и региональных научных центров Российской академии наук, а с 2022 г. — членом Совета по региональной политике РАН при Президиуме РАН. В настоящее время Керимов И. А. является экспертом РАН в области наук о Земле.

В 2016 г. по инициативе И. А. Керимова был основан научно-технический журнал «Грозненский естественно-научный бюллетень», который входит в РИНЦ и включён в Перечень рецензируемых научных изданий, где должны быть опубликованы основные научные результаты

диссертаций на соискание учёной степени кандидата (доктора) наук (Распоряжение Минобрнауки России от 16.12.2021 г. № 486 р). Журнал отнесён к категории К2 (рекомендация ВАК при Минобрнауки и образования РФ от 21.12.2023 г. № 3-пл/1). И. А. Керимов — главный редактор журнала «Грозненский естественно-научный бюллетень», заместитель главного редактора научных журналов «Вестник Академии наук Чеченской Республики» (ВАК), «Геология и геофизика Юга России» (ВАК, Scopus), член редакционного совета международного научного журнала «Устойчивое развитие горных территорий» (ВАК, Scopus), член редколлегии научного журнала «Биоразнообразие и устойчивое развитие» (ВАК).

С 2023 г. И. А. Керимов является руководителем крупного научного проекта «Динамика геозоологического состояния бассейнов горных рек Северо-Восточного Кавказа, Азербайджана и Ирана в условиях изменения климата и растущей антропогенной нагрузки» (Соглашение Минобрнауки РФ № 075-15-2023-592). Исполнителями проекта являются ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова (Грозный), Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН (Севастополь), Высшая школа экономики (Москва), Институт геологии ДФИЦ РАН (Махачкала). Проект является международным, в нём принимают участие учёные России, Азербайджана и Ирана. В рамках проекта в 2024 г. была организована экспедиция по горным рекам регионов (Россия (Чеченская Республика, Дагестан), Азербайджан) — изучаются состав вод, степень загрязнения почвы в бассейнах рек. Для анализа геозоологических данных используются данные космических спутников и (впервые в практике вуза — ГГНТУ имени академика М. Д. Миллионщикова) искусственный интеллект. По итогам реализации проекта планируется создание серии электронных карт и рекомендаций для устойчивого развития горных регионов Северо-Восточного Кавказа.

Ибрагим Ахмедович — автор более 500 научных работ и изобретений (патентов РФ). Заслуги И. А. Керимова отмечены правительственными, ведомственными, республиканскими и международными наградами (медаль «За заслуги перед Чеченской Республикой», Почётная грамота ЮНЕСКО, звания «Заслуженный геолог Российской Федерации», «Заслуженный деятель науки Чеченской Республики», «Почётный работник высшего профессионального образования Российской Федерации» и др.).

Ибрагим Ахмедович — блестящий учёный и организатор научной деятельности, педагог, наставник. Вокруг него всегда много молодёжи. Он полон энергии и творческих идей, в курсе проблем развития науки, обладает богатейшим профессиональным опытом, которым делится с коллегами, продолжая активно работать и вносить вклад в развитие науки и образования.



**Рис. 1.** XIV Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Современные проблемы геологии, геофизики и геозоологии Северного Кавказа», 17–22 сентября 2024 г., Махачкала, Институт геологии ДФИЦ РАН (из открытых источников)





**Рис. 2.** 12 декабря 2017 г. президент Российской академии наук академик Александр Михайлович Сергеев встретился с главами национальных академий наук. Встреча проходила в формате чаепития и дружеской беседы, в ходе которой обсуждались вопросы взаимодействия национальных академий и региональные проблемы российской науки (из открытых источников)

### Список литературы

1. Сатосина Е. М., Мамадиев Н. А., Махмудова Л. Ш., Керимов И. А., Курбатова Ю. А., Ольчев А. В. Карбоновый полигон Чеченской Республики. IV. Пилотные измерения потоков парниковых газов // Грозненский естественнонаучный бюллетень. – 2023. – Т. 8, № 2. – С. 53–64. – <https://doi.org/10.25744/genb.2023.97.15.008>
2. Керимов И. А. Метод F-аппроксимации при решении задач гравиметрии и магнитометрии. – Москва : Физматлит, 2011. – 264 с.
3. Геология нефтяных месторождений Терско-Сунженской нефтегазоносной области : справочник / Керимов И. А., Борисенко З. Г., Даукаев А. А. [и др.]. – Грозный : АН Чечен. Респ., 2010. – 254 с.
4. Геология и перспективы нефтегазоносности Чечни и Ингушетии / Керимов И. А., Борисенко З. Г., Даукаев А. А. [и др.]. – Грозный : АН Чечен. Респ., 2010. – 298 с.
5. Керимов И. А., Братков В. В., Бекмурзаева Л. Р. Современные климатические условия и агроклиматический потенциал ландшафтов Чеченской Республики // Грозненский естественнонаучный бюллетень. – 2023. – Т. 8, № 3. – С. 19–26. – <https://doi.org/10.25744/genb.2023.33.3.003>
6. Керимов И. А., Гайрабеков У. Т., Махмудова Л. Ш. Карбоновый полигон Чеченской Республики. I. Ландшафтные особенности и структура // Грозненский естественнонаучный бюллетень. – 2021. – Т. 6, № 3. – С. 35–47. – <https://doi.org/10.25744/genb.2021.28.73.004>
7. Полезные ископаемые Чеченской Республики : справочник / Керимов И. А., Даукаев А. А., Моисеенко Н. А. [и др.] ; под ред. Керимова И. А. – Грозный : АН Чечен. Респ., 2009. – 246 с.
8. Керимов И. А., Махмудова Л. Ш., Мячина К. В., Придача В. Б., Эльжаев А. С., Бадаев С. В., Батукаев А. А., Додуев А. А., Дускаев М. З., Мамадиев Н. А. Карбоновый полигон Чеченской Республики. II. Методы исследования и первые результаты. // Грозненский естественнонаучный бюллетень. – 2022. – Т. 7, № 4. – С. 62–78. – <https://doi.org/10.25744/genb.2022.70.69.008>
9. Керимов И. А., Уздиева Н. С. Геоэкология нефтяного комплекса Чеченской Республики. – Назрань : Пилигрим, 2008. – 252 с.

10. Керимов И. А., Эльжаев А. С., Додуев А. А. Геофизические исследования на карбоновом полигоне Чеченской Республики // Геология и геофизика Юга России. – 2023. – Т. 13, № 3. – С. 49–62. – <https://doi.org/10.46698/VNC.2023.42.75.004>
11. Минерально-сырьевые ресурсы Чеченской Республики / под ред. И. А. Керимова, Е. М. Аксенова. – Грозный : Грознен. рабочий, 2015. – 512 с.
12. Владимир Николаевич Страхов / сост. В. О. Михайлов, И. А. Керимов ; авт. вступ. ст. В. О. Михайлов, В. И. Старостенко, И. А. Керимов. – Москва : Наука, 2012. – 181 с.
13. Очерки истории исследования природы Северного Кавказа / И. А. Керимов, В. А. Широкова, В. А. Снытко [и др.] ; науч. ред. И. А. Керимов, В. А. Широкова. – Москва : ИИЕТ РАН, 2022. – 398 с.
14. Михаил Дмитриевич Миллионщиков, 1913–1973 / сост. М. А. Лебедев ; авт. вступ. ст. Н. Н. Пономарев-Степной, И. А. Керимов, М. А. Лебедев. – Москва : Наука, 2014. – 292 с.
15. Страхов В. Н., Керимов И. А., Степанова И. Э. Разработка теории и компьютерной технологии построения линейных аналитических аппроксимаций гравитационных и магнитных полей. – Москва : ИФЗ РАН. – 2009. – 254 с.

## TO THE ANNIVERSARY OF THE FAMOUS SCIENTIST I. A. KERIMOV

Gagaeva Z. Sh.<sup>1,2</sup>, Gorbunov R. V.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Academy of Sciences of the Chechen Republic, Grozny, Russian Federation,

<sup>2</sup>Millionshchikov GSOTU, Grozny, Russian Federation,

<sup>3</sup>A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,  
e-mail: [zsh\\_gagaeva@mail.ru](mailto:zsh_gagaeva@mail.ru)

**Abstract:** The article is devoted to the anniversary of the famous russian scientist, doctor of physical and mathematical sciences, professor Ibragim Akhmedovich Kerimov. His scientific and scientific-pedagogical activities for many years have been connected with the Chechen Republic. I. A. Kerimov took an active part in the formation of the Grozny scientific school of geologists and geophysicists, which is currently being revived thanks to his participation and leadership. On the initiative and under the direct guidance of I. A. Kerimov, collective monographs and conference proceedings were published, high-level scientific events were held, including those with the participation of foreign scientists and specialists. In the scientific community I. A. Kerimov is known as a talented organizer and leader. He pays great attention to young scientists, which he knows how to attract to research work.

**Keywords:** anniversary, scientist, research, geology, geophysics, Caucasus

## Сведения об авторах

|                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Гагаева<br>Зульфира<br>Шерпаевна  | ведущий научный сотрудник отдела наук о Земле Института природных ресурсов Академии наук Чеченской Республики; доцент кафедры экологии и природопользования Грозненского государственного нефтяного технического университета имени академика М. Д. Миллионщикова, ул. Вахи Алиева, 19а, Грозный, Российская Федерация, <a href="mailto:zsh_gagaeva@mail.ru">zsh_gagaeva@mail.ru</a> |
| Горбунов<br>Роман<br>Вячеславович | доктор географических наук, директор ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация, <a href="mailto:gorbunov@ibss-ras.ru">gorbunov@ibss-ras.ru</a>                                                                                                                                             |

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Федеральный исследовательский центр  
«ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ имени А. О. КОВАЛЕВСКОГО РАН»

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
«Федеральный исследовательский центр  
«СУБТРОПИЧЕСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»

# БИОРАЗНООБРАЗИЕ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

Основан в мае 2016 г.

Основатель журнала –  
ФГБУН «Карадагская научная станция им. Т. И. Вяземского –  
природный заповедник РАН»

Научное издание

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи,  
информационных технологий и массовых коммуникаций

**Свидетельство о регистрации средства массовой информации**  
**Сер. ПИ № ФС77-76870 от 11 октября 2019 г.**

Рекомендовано к печати решением учёного совета Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки Федерального исследовательского центра  
«Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»  
(протокол № 7 от 29.05.2025 г.).

Главный редактор: доктор геогр. наук Горбунов Р. В.  
Заместитель главного редактора: доктор биол. наук Довгаль И. В.  
Ответственный секретарь: Жукова Ю. В.  
Корректор: Уткина Е. Г.  
Компьютерная вёрстка: Майборода Д. И.  
Макет обложки: Келип М.-Е. А.

Фото на обложке: Раковина черноморской популяции тихоокеанских устриц *M. gigas*  
при поражении *P. vastifica*.

Подписано к печати: 07.08.2025 г.

Дата выхода: 21.08.2025 г.

Формат 60x84/8 Усл. печ. л. 10,9 Тираж: 100 экз.

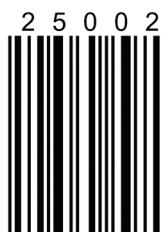
Отпечатано в типографии: ИП Ермолов М. П., ОГРНИП 314920436710081 от 26.12.2014;  
ул. Кулакова, д. 59, г. Севастополь, 299011;  
тел.: +7 978 70-45-111; e-mail: [print-e@yandex.ru](mailto:print-e@yandex.ru)

Распространяется бесплатно

ISSN 2949-4583



9 772949 458006



2 5 0 0 2

>