



Российская Академия Наук

ISSN 2949-4583



БИОРАЗНООБРАЗИЕ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

Report of *Cyclodonta bipartita* (Ciliophora) from a seawater influenced Boulder Beach at the Falkland Islands (South Atlantic Ocean)

TAPAS CHATTERJEE, IGOR DOVGAL AND DAVID J. MARSHALL

Том 10
выпуск 4
2025

БИОРАЗНООБРАЗИЕ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

Журнал реферируется Всероссийским институтом научно-технической информации (ВИНИТИ),
а также Российской 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

Дмитренок 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., ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщика

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

Яницкая 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 | 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 МОРЁЙ 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. 4

Основан в мае 2016 г.

Научный журнал

Выходит 4 раза в год

СОДЕРЖАНИЕ

Биоразнообразие экосистем и его сохранение

Гринцов В. А., Нгуен Тхи Лан, Фан Чонг Хуан, Скуратовская Е. Н. Чек-лист Amphipoda Центрального и Южного Вьетнама (по материалам сборов 2011, 2012, 2025 гг.) 3–14

Chatterjee T., Dovgal I. V., Marshall D. J. Report of *Cyclodonta bipartita* (Ciliophora) from a seawater influenced Boulder Beach at the Falkland Islands (South Atlantic Ocean) 15–20

Чеснокова И. И., Ку Нгуен Динь, Карпова Е. П., Куршаков С. В., Нгуен Чан Хоай Бао Эндемики горных ручьёв Ламдонга (Вьетнам): *Dalatomon loxophrys* и *Macrobrachium dalatense* 21–25

Структура, функционирование и динамика экосистем

Фарбер А. А., Стельмах Л. В., Ковалева И. В., Бабич И. И. Оценка структурных и функциональных характеристик фитопланктона Чёрного моря в весенний период 2023 г. 26–39

Рыфф Л. Э. Структура природного комплекса пищундскососново-высокоможжевеловых лесов и сопутствующих им биотопов Крымского Субсредиземноморья 40–58

Бондарева Л. В. Природоохранная эффективность государственного природного заказника «Ласпи» (г. Севастополь) 59–73

Вышкваркова Е. В., Линева Н. П., Горбунов Р. В., Кузнецов А. Н., Кузнецова С. П., Нгуен Д. Х. Оценка изменений климатических экстремумов во Вьетнаме в начале XXI века 74–87

Биологические ресурсы, биотехнология и аквакультура

Клочкова В. С., Лелеков А. С. Моделирование влияния света и температуры на скорость роста интенсивной культуры *Porphyridium purpureum* 88–100

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. 4

Established in May 2016

Periodical

Issued 4 times a year

CONTENT

Biodiversity of ecosystems and its conservation

- Grintsov V. A., Nguyen Thi Lan, Phan Trung Hoang, Skuratovskaya E. N. Checklist of Amphipoda from central and southern Vietnam (based on specimens collected in 2011, 2012, 2025) 3–14
Chatterjee T., Dovgal I. V., Marshall D. J. Report of *Cyclodonta bipartita* (Ciliophora) from a seawater influenced Boulder Beach at the Falkland Islands (South Atlantic Ocean) 15–20
Chesnokova I. I., Cu Nguyen Dinh, Karpova E. P., Kurshakov S. V., Nguyen Tran Hoai Bao. Endemics of the Lam Dong mountain streams (Vietnam): *Dalatomon loxophrys* and *Macrobrachium dalatense* 21–25
-

Structure, functioning and dynamic of the ecosystem

- Farber A. A., Stelmakh L. V., Kovaleva I. V., Babich I. I. The assessment of structural and functional characteristics of phytoplankton of the Black Sea in spring of 2023 26–39
Ryff L. E. The structure of the natural complex of *Pinus brutia* var. *pityusa* and *Juniperus excelsa* forests and associated biotopes of the Crimean Sub-Mediterranean 40–58
Bondareva L. V. Environmental efficiency of the State Nature Reserve «Laspi» (Sevastopol) 59–73
Vyshkvarkova E. V., Lineva N. P., Gorbunov R. V., Kuznetsov A. N., Kuznetsova S. P., Nguyen D. H. Assessment of changes in climate extremes in Vietnam at the beginning of the 21st century 74–87
-

Biological resources, biotechnology and aquaculture

- Klochkova V. S., Lelekov A. S. Modeling the influence of light and temperature on the growth rate of intensive culture of *Porphyridium purpureum* 88–100

БИОРАЗНООБРАЗИЕ ЭКОСИСТЕМ
И ЕГО СОХРАНЕНИЕ

УДК 595.371(265.72)

DOI: [10.21072/eco.2025.10.4.01](https://doi.org/10.21072/eco.2025.10.4.01)

**ЧЕК-ЛИСТ АМФИПОДА ЦЕНТРАЛЬНОГО И ЮЖНОГО ВЬЕТНАМА
(ПО МАТЕРИАЛАМ СБОРОВ 2011, 2012, 2025 гг.) ***

Гринцов В. А.¹, Нгуен Тхи Лан², Фан Чонг Хуан², Скуратовская Е. Н.¹

¹ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,

г. Севастополь, Российская Федерация,

²Приморское отделение Совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра, пров. Khanhhoa, Вьетнам,

e-mail: vgrintsov@gmail.com

Аннотация: По материалам исследований амфипод, собранных в акваториях Центрального и Южного Вьетнама в 2011, 2012, 2025 гг., составлен чек-лист, включающий 138 видов амфипод, относящихся к 77 родам и 36 семействам. Наибольшее число видов включают семейства Maeridae Krapp-Schickel, 2008 и Photidae Boeck, 1871 (20 и 14 соответственно). Количество видов других семейств колеблется от 1 до 10.

Ключевые слова: Amphipoda, Вьетнам, чек-лист, фаунистика

Введение

Списки таксонов в чек-лисах в настоящее время весьма актуальны с учётом постоянного обнаружения всё новых и новых видов, родов, семейств и т. д. Это касается и акватории Мирового океана, где во многих регионах фауна и флора ещё недостаточно изучены. В значительной степени это затрагивает регион тропиков с его богатейшей фауной и флорой, коралловыми рифами, мангровыми зарослями и прочими местообитаниями. Тихоокеанский регион, особенно Западная Индо-Пацифика, — один из самых важных центров видообразования, где постоянно обнаруживают новые виды организмов. Частью этого региона является акватория Вьетнама, богатая разнообразными биотопами и сообществами. Настоящий чек-лист охватывает списки таксонов Amphipoda (Malacostraca, Crustacea), зарегистрированных в Южном Вьетнаме во время сборов проб в 2011, 2012, 2025 гг.

Материал и методы

Материал собирали в 2011 г. с различных субстратов с глубины от 0 до 32 м (канд. биол. наук О. П. Полтаруха, доктор биол. наук Б. И. Сиренко) в районах залива Нячанг, архипелага Кон Сон, острова Фукви, Сиамского залива, островов Антхой. Материал был предоставлен в виде проб в этаноле. В 2012 г. в районе залива Нячанг (доктором биол. наук В. А. Гринцовым) были отобраны пробы с различных субстратов с глубины от 0 до 12 м, из которых в лабораторных условиях в ФИЦ ИнБЮМ были отобраны и идентифицированы таксоны амфипод.

*Работа выполнена в рамках темы Эколан Э-3.3 «Исследование и оценка биоразнообразия некоторых морских сообществ центральных и южных вод Вьетнама» Совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра и государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Комплексное исследование механизмов функционирования морских биотехнологических комплексов с целью получения биологически активных веществ из гидробионтов» (№ госрегистрации 124022400152-1).

В 2025 г. из проб, представленных смывами с макрофитов, были отобраны и идентифицированы таксоны амфипод. Отбор и идентификация всех видов проводились в лаборатории ФИЦ ИнБЮМ В. А. Гринцовым. Всего за время исследований было проанализировано 202 пробы, идентифицированы 138 видов, относящихся к 77 родам и 36 семействам. Особей идентифицировали с использованием светового биологического микроскопа «МБС-9» и микроскопа «Микмед-5». Измерения проводили с использованием окуляр-микрометра для светового биологического микроскопа «МБС-9». Для идентификации использовали оригинальные описания и переописания таксонов (см. WoRMS), а также следующую литературу: Barnard, Karaman, 1991; Bousfield, Chevrier, 1996; Bousfield, Hoover, 1997; Bousfield, Hendrycks, 2002; Coleman, Lowry, Revision of ..., 2006; Coleman, Lowry, Australian ..., 2006; Hirayama, 1991; Hughes, Lowry, 2009; Imbrach, 1967; Ishimaru, 1996; Just, 1983; Kim H., Kim C., 1987; Krapp-Schickel, Myers, 2006; Krapp-Schickel, 2008; Lörz, Kilgallen, Thiel, 2010; Lowry, 2000; Lowry, Myers, 2003; Myers, 2009; Myers, 2012; Ren, 2002. Проанализированные образцы хранятся в коллекции ФИЦ ИнБЮМ.

Результаты и обсуждение

Ниже представлен аннотированный перечень таксонов Amphipoda, зарегистрированных в ходе исследования (табл. 1).

Таблица 1
Чек-лист Amphipoda Южного Вьетнама (по материалам сборов 2011, 2012, 2025 гг.)

№№	Семейство	Вид	Районы, биотопы
1	Ampeliscidae Krøyer, 1842	<i>Ampelisca cf. maia</i> (A. Costa, 1853)	о. Фукви, о-ва Антхой; обломки раковин
2		<i>Ampelisca cf. jiigurru</i> King, 2009	залив Нячанг, архипелаг Кон Сон, о-ва Антхой; обломки раковин
3		<i>Byblis minutus</i> Ren, 2006	залив Нячанг, архипелаг Кон Сон, о-ва Антхой; обломки раковин
4	Amphilochidae Boeck, 1871	<i>Apolochus cf. likelike</i> (J. L. Barnard, 1970)	залив Нячанг, архипелаг Кон Сон; обломки раковин, обломки мёртвых кораллов, горгонарии
5		<i>Apolochus cf. menehune</i> (J. L. Barnard, 1970)	залив Нячанг, о. Фукви; перифитон, губки, обломки мёртвых кораллов
6		<i>Hourstonius cf. pele</i> (J. L. Barnard, 1970)	залив Нячанг, о. Фукви, архипелаг Кон Сон, о-ва Антхой; обломки мёртвых кораллов
7		<i>Rostrogitanopsis cf. cuculla</i> Myers, 1997	залив Нячанг, о. Фукви; обломки мёртвых кораллов
8	Ampithoidae Boeck, 1871	<i>Biancolina cf. obtusata</i> Tzvetkova, 1976	залив Нячанг; обломки мёртвых кораллов
9		<i>Ampithoe cf. alluaudi</i> Chevreux, 1901	залив Нячанг; перифитон
10		<i>Ampithoe cf. ramondi</i> Audouin, 1826	залив Нячанг, о. Фукви, архипелаг Кон Сон, о-ва Антхой; перифитон

Продолжение таблицы №1

№№	Семейство	Вид	Районы, биотопы
11		<i>Cymadusa</i> cf. <i>cavimana</i> (Sivaprakasam, 1970)	залив Нячанг, о. Фукви, архипелаг Кон Сон, о-ва Антхой; губки, обломки мёртвых кораллов
12		<i>Cymadusa</i> cf. <i>heronensis</i> Peart, 2007	залив Нячанг, о. Фукви, архипелаг Кон Сон, о-ва Антхой; обломки мёртвых кораллов
13		<i>Paragrubia edgari</i> Peart, 2009	залив Нячанг; губки, макрофиты, обломки мёртвых кораллов
14		<i>Pleonexes</i> cf. <i>auriculata</i> (Rabindranath, 1972)	залив Нячанг, о-ва Антхой; обломки раковин
15		<i>Pleonexes</i> cf. <i>parakava</i> (Peart, 2007)	архипелаг Кон Сон; обломки раковин
16		<i>Pleonexes</i> cf. <i>rotunda</i> (Peart, 2007)	залив Нячанг, о-ва Антхой; макрофиты, обломки мёртвых кораллов
17		<i>Plumithoe quadrimana</i> (Haswell, 1879)	залив Нячанг, о. Фукви, о-ва Антхой; макрофиты, обломки мёртвых кораллов, обломки раковин
18	Aoridae Stebbing, 1899	<i>Globosolembos</i> cf. <i>ovatus</i> (Myers, 1985)	залив Нячанг, о. Фукви, о-ва Антхой; горгонарии, обломки мёртвых кораллов, обломки раковин
19		<i>Autonoe</i> cf. <i>seurati</i> (Chevreux, 1907)	залив Нячанг, архипелаг Кон Сон; обломки мёртвых кораллов, обломки раковин, губки, перифитон
20		<i>Aoroides</i> cf. <i>parvus</i> Myers, 2009	залив Нячанг, архипелаг Кон Сон; обломки раковин, губки
21		<i>Bemlos</i> cf. <i>delicatissima</i> Myers, 2002	залив Нячанг, архипелаг Кон Сон; горгонарии, обломки мёртвых кораллов, обломки раковин, губки
22		<i>Bemlos</i> cf. <i>parahastatus</i> (Myers, 1975)	залив Нячанг; обломки мёртвых кораллов, губки
23		<i>Grandidierella</i> cf. <i>exilis</i> Myers, 1981	архипелаг Кон Сон, о-ва Антхой; обломки раковин
24		<i>Protolembos</i> cf. <i>tegulapodus</i> Myers, 2002	залив Нячанг, архипелаг Кон Сон, о. Фукви, о-ва Антхой; обломки раковин, обломки мёртвых кораллов
25		<i>Protolembos</i> cf. <i>verrucularum</i> (Moore, 1987)	залив Нячанг, архипелаг Кон Сон; губки, макрофиты, обломки раковин, обломки мёртвых кораллов
26	Chevaliidæ Myers & Lowry, 2003	<i>Chevalia</i> cf. <i>tenuis</i> Myers, 2009	залив Нячанг; перифитон

Продолжение таблицы №1

№№	Семейство	Вид	Районы, биотопы
27	Colomastigidae Chevreux, 1899	<i>Colomastix cf. irciniae</i> LeCroy, 1995	залив Нячанг; губки, обломки мёртвых кораллов
28		<i>Colomastix cf. lunalilo</i> J. L. Barnard, 1970	залив Нячанг, о-ва Антхой; губки, обломки мёртвых кораллов
29		<i>Colomastix cf. murivai</i> Myers, 1990	залив Нячанг; губки, горгонарии, перифитон
30		<i>Colomastix cf. pusilla</i> Grube, 1861	залив Нячанг; губки, горгонарии, перифитон, макрофиты, обломки мёртвых кораллов
31		<i>Colomastix cf. semiplumosa</i> Ariyama, 2005	залив Нячанг; губки, горгонарии, обломки мёртвых кораллов
32	Corophiidae Leach, 1814	<i>Apocorophium cf. lousianum</i> (Shoemaker, 1934)	залив Нячанг; перифитон
33		<i>Cheiriphotis cf. rotui</i> Myers, 1989	залив Нячанг, о-ва Антхой; обломки раковин, обломки мёртвых кораллов
34		<i>Laticorophium baconi</i> (Shoemaker, 1934)	залив Нячанг; перифитон
35	Cyproideidae J.L. Barnard, 1974	<i>Moolapheonoides cf. utmas</i> Thomas, 1999	залив Нячанг, о-ва Антхой; обломки раковин, обломки мёртвых кораллов
36		<i>Cyproidea cf. robusta</i> Ren, 2006	залив Нячанг; перифитон
37		<i>Unyapheonoides dabber</i> J. L. Barnard, 1972	залив Нячанг, архипелаг Кон Сон; обломки раковин, обломки мёртвых кораллов
38	Dexaminiidae Leach, 1814	<i>Guernea cf. epilya</i> Thomas & Barnard, 1991	залив Нячанг; обнаружен в планктоне
39		<i>Paradexamine cf. latifolia</i> Ren, 2006	залив Нячанг; обнаружен в планктоне, обломки мёртвых кораллов
40		<i>Paradexamine cf. saxeta</i> Myers & LeCroy, 2009	залив Нячанг; макрофиты
41	Eophliantidae Sheard, 1936	<i>Wandelia wairarapa</i> J. L. Barnard, 1972	о. Фукви; литотамниум на старых кораллах
42	Exoedicerotidae Barnard & Drummond, 1982	<i>Kanaloa manoa</i> J. L. Barnard, 1970	залив Нячанг; обломки мёртвых кораллов, перифитон
43	Hyalidae Bulyčeva, 1957	<i>Parhyale cf. aquilina</i> (Costa, 1857)	залив Нячанг; камни на песке, заплеск
44		<i>Protohyale cf. galateae</i> (Stebbing, 1899)	о. Фукви, о-ва Антхой; литотамниум на старых кораллах
45		<i>Protohyale (Protohyale) cf. guasave</i> (J. L. Barnard, 1979)	архипелаг Кон Сон; устричник
46		<i>Protohyale (Protohyale) cf. honoluluensis</i> (Schellenberg, 1938)	залив Нячанг, архипелаг, о. Фукви, о-ва Антхой; перифитон, макрофиты, гидроидные полипы, обломки раковин

Продолжение таблицы №1

№№	Семейство	Вид	Районы, биотопы
47		<i>Protohyale</i> (Diplohyale) cf. <i>didendactyla</i> (Hirayama, 1980)	о. Фукви, о-ва Антхой; литетотамниум на старых кораллах
48		<i>Lelehua malevua</i> Myers, 1985	залив Нячанг; камни на песке
49	Iphimediidae Boeck, 1871	<i>Iphimedia</i> cf. <i>beesleyae</i> Coleman & Lowry, 2006	залив Нячанг, о. Фукви, о-ва Антхой; обломки мёртвых кораллов, обломки раковин
50		<i>Iphimedia</i> cf. <i>grossimana</i> Ledoyer, 1972	залив Нячанг; обломки раковин и мёртвых кораллов
51		<i>Iphimedia</i> cf. <i>schminkei</i> Coleman, 2009	залив Нячанг; обломки раковин и мёртвых кораллов
52		<i>Iphimedia</i> cf. <i>xesta</i> Thomas & Barnard, 1991	залив Нячанг; обломки мёртвых кораллов
53	Ischyroceridae Stebbing, 1899	<i>Ambicholestes</i> cf. <i>magellani</i> (Just, 1984)	залив Нячанг; биотопы не установлены
54		<i>Jassa</i> cf. <i>morinoi</i> Conlan, 1990	залив Нячанг, о-ва Антхой; перифитон
55		<i>Ericthonius</i> cf. <i>forbesii</i> Hughes & Lowry, 2006	залив Нячанг, архипелаг Кон Сон, о. Фукви, о-ва Антхой; горгонарии, губки, обломки мёртвых кораллов, гидроиды, обломки раковин
56		<i>Ericthonius</i> cf. <i>parabrasiliensis</i> Just, 2009	залив Нячанг; перифитон, обломки мёртвых кораллов, гидроиды
57		<i>Ericthonius</i> cf. <i>pugnax</i> (Dana, 1852)	залив Нячанг, о-ва Антхой; горгонарии, обломки мёртвых кораллов, обломки раковин
58		<i>Ventojassa</i> cf. <i>dentipalma</i> Kim & Kim, 1991	залив Нячанг, архипелаг Кон Сон, о. Фукви, о-ва Антхой; губки, обломки мёртвых кораллов, обломки раковин
59	Kamakidae Myers & Lowry, 2003	<i>Aloiloi nenuue</i> J.L. Barnard, 1970	залив Нячанг, архипелаг Кон Сон, о. Фукви, о-ва Антхой; обломки мёртвых кораллов, обломки раковин
60	Leucothoidae Dana, 1852	<i>Leucothoe gracilis</i> Haswell, 1879	залив Нячанг; губки, обломки мёртвых кораллов
61		<i>Leucothoe</i> cf. <i>nurunuru</i> White & Reimer, 2012	залив Нячанг; губки, горгонарии, обломки мёртвых кораллов, перифитон, макрофиты
62		<i>Leucothoe</i> cf. <i>kensleyi</i> Thomas & Klebba, 2005	залив Нячанг, архипелаг Кон Сон; губки, обломки мёртвых кораллов

Продолжение таблицы №1

№№	Семейство	Вид	Районы, биотопы
63		<i>Leucothoe</i> cf. <i>madrasana</i> Sivaprakasam, 1969	залив Нячанг; обломки мёртвых кораллов, перифитон
64		<i>Leucothoe</i> cf. <i>squalidens</i> Ledoyer, 1984	залив Нячанг; обломки мёртвых кораллов, перифитон, горгонарии
65		<i>Leucothoe</i> cf. <i>toribe</i> White & Reimer, 2012	залив Нячанг; обломки мёртвых кораллов, перифитон, макрофиты
66		<i>Paranamixis</i> cf. <i>thomasi</i> White & Reimer, 2012	залив Нячанг, архипелаг Кон Сон, о-ва Антхой; обломки мёртвых кораллов
67	Liljeborgiidae Stebbing, 1899	<i>Liljeborgia</i> cf. <i>georgienensis</i> K. H. Barnard, 1932	залив Нячанг, архипелаг Кон Сон, о-ва Антхой; обломки мёртвых кораллов, обломки раковин
68	Lysianassidae Dana, 1849	<i>Azotostoma bunakenensis</i> Ortiz & Lalana, 1997	залив Нячанг; обломки мёртвых кораллов
69		<i>Pseudambasia</i> cf. <i>nui</i> (Myers, 1985)	залив Нячанг, о. Фукви, архипелаг Кон Сон, о-ва Антхой; обломки мёртвых кораллов, обломки раковин
70		<i>Socarnoides</i> cf. <i>illudens</i> Hurley, 1963	залив Нячанг, о. Фукви, о-ва Антхой; обломки мёртвых кораллов, обломки раковин, губки
71	Maeridae Krapp-Schickel, 2008	<i>Anamaera hixonii</i> Thomas & J. L. Barnard, 1985	залив Нячанг, о. Фукви, о-ва Антхой; обломки мёртвых кораллов
72		<i>Ceradocus</i> cf. <i>chiltoni</i> Sheard, 1939	архипелаг Кон Сон, о-ва Антхой; обломки раковин
73		<i>Ceradocus</i> cf. <i>hawaiensis</i> J. L. Barnard, 1955	залив Нячанг, о. Фукви; обломки мёртвых кораллов
74		<i>Ceradocus</i> cf. <i>C. (Denticeradocus) ramsayi</i> (Haswell, 1879)	залив Нячанг; обломки мёртвых кораллов
75		<i>Ceradocus</i> cf. <i>C. (Denticeradocus) sheardi</i> Shoemaker, 1948	о-ва Антхой; биотопы не установлены
76		<i>Elasmopus</i> cf. <i>hooheno</i> J. L. Barnard, 1970	залив Нячанг, о. Фукви, архипелаг Кон Сон, о-ва Антхой; обломки мёртвых кораллов, губки, гидроидные полипы, обломки раковин
77		<i>Elasmopus</i> cf. <i>karamani</i> Souza-Filho & Senna, 2009	залив Нячанг, архипелаг Кон Сон; обломки мёртвых кораллов, обломки раковин
78		<i>Elasmopus</i> cf. <i>spinicarpus</i> Berents, 1983	залив Нячанг; обломки мёртвых кораллов
79		<i>Elasmopus</i> cf. <i>spinidactylus</i> Chevreux, 1907	архипелаг Кон Сон; обломки раковин

Продолжение таблицы №1

№№	Семейство	Вид	Районы, биотопы
80		<i>Elasmopus</i> cf. <i>palu</i> Appadoo & Myers, 2003	архипелаг Кон Сон, о-ва Антхой; обломки раковин
81		<i>Elasmopus</i> cf. <i>pecteniferus</i> (Spence Bate, 1863)	залив Нячанг, о. Фукви, о-ва Антхой; обломки мёртвых кораллов, перифитон, макрофиты, обломки раковин
82		<i>Maeropsis</i> cf. <i>perrieri</i> (Chevreux, 1920)	залив Нячанг, архипелаг Кон Сон, о-ва Антхой; биотопы не установлены
83		<i>Mallacoota</i> cf. <i>insignis</i> (Chevreux, 1901)	залив Нячанг, о. Фукви, о-ва Антхой; обломки раковин и мёртвых кораллов
84		<i>Mallacoota</i> cf. <i>latibrachium</i> (Walker, 1905)	архипелаг Кон Сон, о-ва Антхой; обломки раковин
85		<i>Mallacoota</i> cf. <i>unidentata</i> Ren, 1998	залив Нячанг, о. Фукви; обломки раковин и мёртвых кораллов, горгонии, птирифитон
86		<i>Meximaera tulearensis</i> (Ledoyer, 1972)	о. Фукви; обломки раковин
87		<i>Quadrimaera quadrimana</i> (Dana, 1852)	залив Нячанг, архипелаг Кон Сон, о-ва Антхой; обломки мёртвых кораллов и раковин
88		<i>Quadrimaera</i> cf. <i>serrata</i> (Schellenberg, 1938)	залив Нячанг, о. Фукви, архипелаг Кон Сон, о-ва Антхой; обломки мёртвых кораллов и раковин
89		<i>Quadrimaera</i> cf. <i>pacifica</i> (Schellenberg, 1938)	залив Нячанг, о. Фукви, архипелаг Кон Сон, о-ва Антхой; обломки мёртвых кораллов и раковин, перифитон, макрофиты
90		<i>Parelasmopus</i> cf. <i>zelei</i> Ledoyer, 1983	о. Фукви, архипелаг Кон Сон, о-ва Антхой; обломки мёртвых кораллов и раковин
91	Maxillipiidae Ledoyer, 1973	<i>Maxillipius commensalis</i> Lowry, 1984	залив Нячанг, о. Фукви, о-ва Антхой; горгонии, перифитон, обломки мёртвых кораллов
92		<i>Maxillipius rectitelson</i> Ledoyer, 1973	о-ва Антхой; обломки раковин и кораллов
93	Megaluropidae Thomas & Barnard, 1986	<i>Megaluropus</i> cf. <i>massiliensis</i> Ledoyer, 1976	архипелаг Кон Сон; песок
94	Melitidae Bousfield, 1973	<i>Dulichiella cotesi</i> (Giles, 1890)	залив Нячанг, архипелаг Кон Сон; обломки мёртвых кораллов и раковин

Продолжение таблицы №1

№№	Семейство	Вид	Районы, биотопы
95		<i>Dulichiella fresnelii</i> (Audouin, 1826)	залив Нячанг; макрофиты, губки, обломки мёртвых кораллов
96		<i>Dulichiella pacifica</i> Lowry & Springthorpe, 2005	о-ва Антхой; обломки мёртвых кораллов и раковин
97		<i>Dulichiella tulear</i> Lowry & Springthorpe, 2007	залив Нячанг; горгонарии, губки
98	Melphidippidae Stebbing, 1899	<i>Melphisana</i> cf. <i>madagascarensis</i> Ledoyer, 1984	Залив Нячанг, о-ва Антхой; обломки мёртвых кораллов и раковин
99	Neomegamphopidae Myers, 1981	<i>Maragopsis</i> cf. <i>bidentata</i> (Ledoyer, 1972)	залив Нячанг; рыхлые субстраты
100	Ochlesidae Stebbing, 1910	<i>Curidia</i> cf. <i>andreae</i> Coleman & Heinz, 2010	залив Нячанг, архипелаг Кон Сон; обломки мёртвых кораллов и раковин
101	Oedicerotidae Lilljeborg, 1865	<i>Perioculopsis lophopus</i> Schellenberg, 1925	залив Нячанг, архипелаг Кон Сон, о-ва Антхой; рыхлые субстраты, обломки мёртвых кораллов
102		<i>Pontocrates</i> cf. <i>arenarius</i> (Spence Bate, 1858)	архипелаг Кон Сон; песок, рыхлые субстраты
103	Photidae Boeck, 1871	<i>Falcigammaropsis</i> cf. <i>exavata</i> Myers, 1995	залив Нячанг, архипелаг Кон Сон; горгонарии, обломки мёртвых кораллов, перифитон, макрофиты, губки
104		<i>Gammaropsis</i> cf. <i>digitata</i> (Schellenberg, 1938)	о-ва Антхой; обломки мёртвых кораллов и раковин
105		<i>Gammaropsis</i> cf. <i>japonica</i> (Nagata, 1961)	о-ва Антхой; обломки мёртвых кораллов и раковин, рыхлые субстраты
106		<i>Gammaropsis</i> cf. <i>hephaestus</i> Myers, 2009	залив Нячанг, о. Фукви; рыхлые субстраты
107		<i>Gammaropsis</i> cf. <i>pokipoki</i> J. L. Barnard, 1970	о. Фукви; рыхлые субстраты
108		<i>Latigammaropsis</i> cf. <i>abbotti</i> (J. L. Barnard, 1965)	залив Нячанг, о. Фукви, архипелаг Кон Сон, о-ва Антхой; обломки мёртвых кораллов и раковин
109		<i>Latigammaropsis athenae</i> Myers, 2009	залив Нячанг, о. Фукви, архипелаг Кон Сон, о-ва Антхой; губки, обломки мёртвых кораллов и раковин
110		<i>Latigammaropsis</i> cf. <i>afra</i> (Stebbing, 1888)	о. Фукви; биотопы не установлены
111		<i>Latigammaropsis</i> cf. <i>atlantica</i> (Stebbing, 1888)	залив Нячанг, о. Фукви, о-ва Антхой; обломки мёртвых кораллов и раковин

Продолжение таблицы №1

№№	Семейство	Вид	Районы, биотопы
112		<i>Latigammaropsis hermes</i> Myers, 2009	залив Нячанг, о. Фукви, архипелаг Кон Сон, о-ва Антхой; обломки мёртвых кораллов и раковин, губки
113		<i>Photis aina</i> J. L. Barnard, 1970	залив Нячанг, архипелаг Кон Сон, о-ва Антхой; обломки мёртвых кораллов и раковин
114		<i>Photis cf. kapapa</i> J. L. Barnard, 1970	залив Нячанг, о. Фукви, архипелаг Кон Сон, о-ва Антхой; губки, гидроидные полипы, обломки мёртвых кораллов и раковин
115		<i>Photis cf. hawaiensis</i> J. L. Barnard, 1955	залив Нячанг; горгонарии, губки, макрофиты, перифитон, обломки мёртвых кораллов
116		<i>Photis cf. pirloti</i> Myers, 1985	залив Нячанг; губки, перифитон
117	Phoxocephalidae G. O. Sars, 1891	<i>Matong matong</i> Barnard & Drummond, 1978	о. Фукви, архипелаг Кон Сон, о-ва Антхой; рыхлые грунты
118		<i>Metaphoxus cf. fultoni</i> (Scott, 1890)	залив Нячанг; обломки мёртвых кораллов
119		<i>Kuritus nacoomus</i> Barnard & Drummond, 1978	залив Нячанг; обломки мёртвых кораллов
120	Platyischnopidae Barnard & Drummond, 1979	<i>Indischnopus redangi</i> Othman & Morino, 1996	архипелаг Кон Сон; песок
121	Podoceridae Leach, 1814	<i>Podocerus cf. hystrix</i> Stebbing, 1910	залив Нячанг; обломки мёртвых кораллов
122		<i>Podocerus cf. karu</i> J. L. Barnard, 1972	залив Нячанг; гидроидные полипы
123		<i>Podocerus cf. variegatus</i> Leach, 1814	залив Нячанг; обломки мёртвых кораллов, перифитон, макрофиты
124		<i>Podocerus cf. walkeri</i> Rabindranath, 1972	залив Нячанг; горгонарии, губки
125		<i>Podocerus cf. wanganui</i> J. L. Barnard, 1972	о-ва Антхой; биотопы не установлены
126	Pontogeneiidae Stebbing, 1888	<i>Eusiroides cf. jucatanensis</i> McKinney, 1980	залив Нячанг, о-ва Антхой; губки, горгонарии, обломки раковин
127		<i>Eusiroides cf. diplonyx</i> Walker, 1909	залив Нячанг, о. Фукви, архипелаг Кон Сон, о-ва Антхой; губки, горгонарии, обломки раковин и мёртвых кораллов
128	Sebidae Walker, 1908	<i>Seba cf. alvarezi</i> Winfield, Ortiz & Cházaro-Olvera, 2009	залив Нячанг; обломки мёртвых кораллов
129		<i>Seba cf. gruneri</i> Yerman & Coleman, 2009	о-ва Антхой; биотопы не установлены

Продолжение таблицы №1

№№	Семейство	Вид	Районы, биотопы
130	Stenothoidae Boeck, 1871	<i>Stenothoe gallensis</i> Walker, 1904	залив Нячанг; перифитон, макрофиты, гидроидные полипы
131		<i>Stenothoe</i> cf. <i>menezgweni</i> Bellan-Santini, 2005	залив Нячанг; обломки мёртвых кораллов
132		<i>Stenothoe</i> cf. <i>tenella</i> G. O. Sars, 1883	залив Нячанг, архипелаг Кон Сон; горгонарии, губки
133	Synopiidae Dana, 1853	<i>Minitiron</i> cf. <i>brevidactylus</i> (Pillai, 1957) sensu Ledoyer (1979)	архипелаг Кон Сон, о. Фукви; рыхлые субстраты
134		<i>Synopia</i> cf. <i>ultramarina</i> Dana, 1853	архипелаг Кон Сон; биотопы не установлены
135		<i>Telsosynopia</i> cf. <i>trifidilla</i> Hughes & Lowry, 2000	залив Нячанг, архипелаг Кон Сон; обломки мёртвых кораллов и раковин
136	Unciolidae Myers & Lowry, 2003	<i>Wombalano</i> cf. <i>yerang</i> Thomas & Barnard, 1991	архипелаг Кон Сон, о. Фукви; биотопы не установлены
137	Urothoidae Bousfield, 1979	<i>Urothoe</i> cf. <i>chosani</i> Hirayama, 1992	архипелаг Кон Сон, о. Фукви; песок
138		<i>Urothoe</i> cf. <i>gelasina</i> Imbrach, 1967	залив Нячанг, архипелаг Кон Сон, о-ва Антхой; песок

Таким образом, анализ таксономической структуры показывает, что наибольшее число видов относится к семейству Maeridae Krapp-Schickel, 2008 (20 видов), за ним следует семейство Photidae Boeck, 1871 (14 видов). Количество видов в других семействах колеблется от 1 до 10.

Благодарности. Авторы выражают глубокую благодарность д-ру биол. наук Б. И. Сиренко и канд. биол. наук О. П. Полтарухе за предоставленные материалы, собранные в районах залива Нячанг, архипелага Кон Сон, острова Фукви, Сиамского залива, островов Антхой, а также выражают благодарность всем коллегам из Вьетнама, помогавшим в сборах амфипод в районе Нячанга.

Список литературы

1. *Barnard J. L., Karaman G. S.* The families and genera of marine Gammaridean Amphipoda (Except Marine Gammaroids). – Sydney, Australia : Australian Museum, 1991. – 866 p. – (Records of the Australian Museum ; suppl. 13).
2. *Bousfield E. L., Chevrier A.* The amphipod family Oedicerotidae on the Pacific Coast of North America. 1. The monoculodes & synchelidium generic complexes: systematics and distributional ecology // *Amphipacifica*. – 1996. – Vol. 2, no. 2. – P. 75–148.
3. *Bousfield E. L., Hoover P. M.* The amphipod superfamily Corophioidea on the Pacific Coast of North America. Pt. V. Family Corophiidae: Corophiinae, new subfamily: systematics and distributional ecology // *Amphipacifica*. – 1997. – Vol. 2, no. 3. – P. 67–139.
4. *Bousfield E. L., Hendrycks E. A.* The talitroidean amphipod family Hyalidae revised, with emphasis on the North Pacific fauna: systematics and distributional ecology // *Amphipacifica*. – 2002. – Vol. 3, no. 3. – P. 17–134.
5. *Coleman C. O., Lowry J. K.* Revision of the Ochlesidae sensu stricto, including five new Australian species (Crustacea: Amphipoda) // *Organisms Diversity & Evolution*. – 2006. – Vol. 6, suppl. 4. – P. 1–57. – <https://www.senckenberg.de/odes/06-04.htm> (accessed: 15.09.2025).

6. Coleman C. O., Lowry J. K. Australian Iphimediidae (Crustacea: Amphipoda) // *Organisms Diversity & Evolution*. – 2006. – Vol. 6, suppl. 9. – P. 1–44. – <http://www.senckenberg.de/odes/06-09.htm> (accessed: 15.09.2025).
7. Hirayama A. Marine Ampeliscidae (Crustacea Amphipoda) from Hong Kong // *Asian Marine Biology*. – 1991. – Vol. 8. – P. 77–93.
8. Hughes L. E., Lowry J. K. Ampithoidae // *Zootaxa*. – 2009. – Vol. 2260. – P. 153–219. – <https://doi.org/10.11646/zootaxa.2260.1.8>
9. Imbrach M. C. Gammaridean Amphipoda from the South China Sea // *Naga Report*. – 1967. – Vol. 4, no. 1. – P. 39–167.
10. Ishimaru S. Taxonomic review of the family Biancolinidae (Amphipoda: Gammaridea), with description of a new species from Japan // *Journal of Crustacean Biology*. – 1996. – Vol. 16, no. 2. – P. 395–405. – <https://doi.org/10.2307/1548895>
11. Just J. Siphonoecetinae subfamily n. (Crustacea, Amphipoda, Corophiidae). 1. Classification // *Steenstrupi*. – 1983. – Vol. 9, no. 6. – P. 117–135.
12. Kim H. S., Kim C. B. Marine gammaridean Amphipoda (Crustacea) of Cheju Island and its adjacent waters, Korea // *The Korean Journal of Systematic Zoology*. – 1987. – Vol. 3, no. 1. – P. 1–23.
13. Krapp-Schickel T., Myers A. A. New and little known Aoridae, Corophiidae, Kamakidae, Photidae and Unciolidae (Crustacea: Amphipoda) from the Indo-Pacific // *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. – 2006. – Vol. 86, iss. 5. – P. 1083–1096. – <https://doi.org/10.1017/S0025315406014056>
14. Krapp-Schickel T. What has happened with the *Maera*-clade (Crustacea, Amphipoda) during the last decades? // *Bollettino del Museo Civico di Storia Naturale di Verona*. – 2008. – Vol. 32. – P. 3–32.
15. Lörz A. N., Kilgallen N. M., Thiel M. Algal-dwelling Eophliantidae (Amphipoda): description of a new species and key to the world species, with notes on their biogeography // *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. – 2010. – Vol. 90, iss. 5. – P. 1055–1063. – <https://doi.org/10.1017/S0025315409991317>
16. Lowry J. K. Taxonomic status of amphipod crustaceans in the South China Sea with a checklist of known species // *The Raffles Bulletin of Zoology*. – 2000. – Vol. 48, suppl. 8. – P. 309–342.
17. Lowry J. K., Myers A. A. New Amphipod crustaceans from the Indo-West Pacific (Amathillopsidae: Eusiridae: Iphimediidae) // *The Raffles Bulletin of Zoology*. – 2003. – Vol. 51, no. 2. – P. 219–256.
18. Myers A. A. Aoridae // *Zootaxa*. – 2009. – Vol. 2260, iss. 1. – P. 220–278. – <https://doi.org/10.11646/zootaxa.2260.1.9>
19. Myers A. A. Amphipoda (Crustacea) from Palau, Micronesia: Families Ampeliscidae, Ampithoidae, Aoridae, Colomastigidae and Cyproideidae // *ZooKeys*. – 2012. – Vol. 193. – P. 1–25. – <https://doi.org/10.3897/zookeys.193.3109>
20. Ren X. Crustacea Amphipoda Gammaridea (I). Ampeliscidae // *Fauna Sinica. Invertebrate*. – 2002. – Vol. 41. – P. 88–198.

CHECKLIST OF AMPHIPODA FROM CENTRAL AND SOUTHERN VIETNAM (BASED ON SPECIMENS COLLECTED IN 2011, 2012, 2025)

Grintsov V. A.¹, Nguyen Thi Lan², Phan Trung Hoang², Skuratovskaya E. N.¹

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

²Coastal Branch of the Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center,

Khanh Hoa Province, Viet Nam,

e-mail: vgrintsov@gmail.com

Abstract: Based on the research materials of amphipod collected in the waters of central and southern Vietnam in 2011, 2012, and 2025, a checklist comprising 138 species belonging to 77 genera and 36 families was compiled. The highest number of species is represented in the families Maeridae Krapp-Schickel, 2008 and Photidae Boeck, 1871 — 20 and 14, respectively. The number of species in other families ranges from 1 to 10.

Keywords: Amphipoda, Vietnam, checklist, faunistic

Сведения об авторах

Гринцов Владимир Андреевич	доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация, e-mail: vladgrintsov@ibss-ras.ru
Фан Чонг Хуан	кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Приморское отделение Совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра, 30 Нгуен Тхиен Тхуат, Нячанг, Вьетнам, e-mail: tronghuan1369@yahoo.com
Нгуен Тхи Лан	кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Приморское отделение Совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра, 30 Нгуен Тхиен Тхуат, Нячанг, Вьетнам, e-mail: nguyenlanst1805@gmail.com
Скуратовская Екатерина Николаевна	кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация, e-mail: skuratovskaya@ibss-ras.ru

*Поступила в редакцию 29.10.2025
Принята к публикации 30.11.2025*

**REPORT OF CYCLODONTA BIPARTITA (CILIOPHORA) FROM A SEAWATER INFLUENCED BOULDER BEACH AT THE FALKLAND ISLANDS
(SOUTH ATLANTIC OCEAN)***

Chatterjee T.¹, Dovgal I. V.², Marshall D. J.³

¹*Independent researcher, Near Harimadir Road, Hirapur, Dhanbad, Jharkhand, India,*

²*A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,*

³*Universiti Brunei Darussalam, Gadong, Brunei Darussalam,*

e-mail: dovgal-1954@mail.ru

Abstract: The peritrich ciliate *Cyclodonta bipartita* (Stokes, 1885) is reported as an epibiont on a harpacticoid copepod from the splash zone of a boulder beach at the Falkland Islands (South Atlantic Ocean). The host basibiont is recorded from interstitial freshwater at the boulder-sediment interface, in a habitat influenced by seawater intrusion, and is the first record of this ciliate from the Falkland Islands. The habitat at these islands suggests this species tolerate brackish water. The species taxonomy and distribution are also discussed.

Keywords: Ciliate, epibiosis, copepod host, basibiont, Falkland Islands

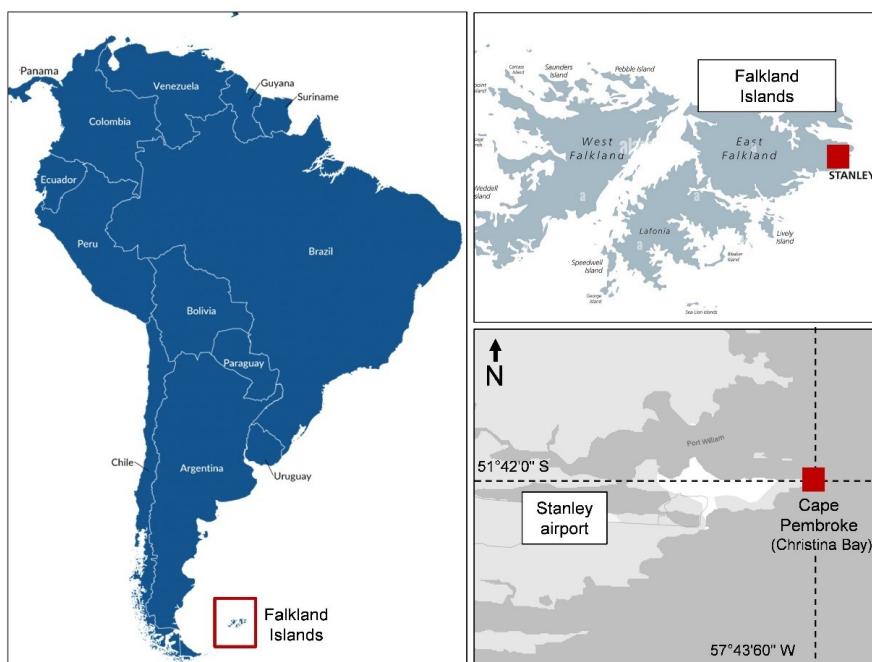
Introduction

Ciliates are commonly epibionts on marine and freshwater meiofauna such as copepods, nematodes, ostracods, halacarid and hydrachnid mites [e.g. Dovgal et al., 2008; Ingole et al., 2010; Chatterjee et al., 2012, 2013, 2014a, b, 2018, 2019, 2020, 2023, 2024; Durucan and Dovgal, 2022; Fernandez-Leborans et al., 2012]. Some ciliates were reported earlier as epibionts from the Falkland Islands. *Thecacineta calix* was reported (as *Thecacineta subantarctica*) on *Desmodora campbelli* (Allgén, 1932) (at present taxon inquirendum) from the Falkland Islands [Allgén, 1949, 1955]. Allgén [1955] also reported *T. calix* (as *Thecacineta paradesmodorae* Allgén, 1949) on the nematode, *Croconema stateni* Allgén, 1928 (= *Desmodora stateni*), at the islands. *Trematosoma rotunda* (Allgén, 1952) (as *Acineta rotunda*) was described by Allgén [1955] from the nematode, *Croconema stateni* Allgén, 1928 (= *Desmodora stateni* Allgén, 1928), from the Falkland Islands. In the present communication we report the peritrich ciliate *Cyclodonta bipartita* (Stokes, 1885) as an epibiont on a harpacticoid copepod collected from the splash zone of a boulder beach, at the Falkland Islands (South Atlantic Ocean). The copepod inhabited the interstitial freshwater in the boulder-sediment interface that is influenced by seawater intrusion.

Materials and Methods

The collection was made from the supratidal (not intertidal) zone of a boulder beach at Christina Bay (51° 42' S; 57° 44' W), Cape Pembroke, the Falkland Islands (Fig. 1). The habitat comprised the interface water between the sediment and a boulder. The sediment was collected and the harpacticoid copepod with the ciliate epibiont was separated during sorting. We assume that the sediment water is mainly freshwater, due to the regular and heavy rainfall at these islands, but there is also likely to be saltwater intrusion into this interstitial habitat during high seas. The copepod was collected by Alex Jones (UK) in 2002 and sent to DJM (Brunei). The systematic position of the found ciliate followed that of Lynn [2008].

*The work of the 2nd author (ID) was carried out within the research topic No 124022400148-4 of A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS. The work of 3rd author (DJM) is supported by a grant from Universiti Brunei Darussalam (UBD/RSCH/1.4/FICBF(b)/2021/033).

**Fig. 1. Map of collection area****Рис. 1. Станция отбора проб**

Results and Discussions

Subclass Peritrichia Stein, 1859

Order Sessilida Kahl, 1933

Family Vaginicolidae de Fromentel, 1874

Genus *Cyclodonta* Matthes, 1958

***Cyclodonta bipartita* (Stokes, 1885) (Fig. 2, 3)**

= *Cothurnia bipartita* Stokes, 1885

= *Cothurniopsis longipes* Voigt, 1902

= *Cothurniopsis rheotypica* Stiller, 1931

= *Cothurnia voigti* Kahl, 1935

= *Cothurnia affinis* Kahl, 1935

= *Cothurnia trilobata* Sramek-Husek, 1957

Investigated material: Single individual of *Cyclodonta bipartita* was found on the last thoracical segment of harpacticoid copepod.

Description of found ciliate: The peritrich ciliate was visible from lateral view, have a slightly curved lorica with gutter-like aperture. External stalk, short and wide with fine longitudinal striae, mesostyle and endostyle absent. Only a single contracted zooid was presented in the lorica, attached to the single membrane at posterior end of lorica. Macronucleus, not visible.

Measurements (in µm, based on one individual): Lorica length 83, width of lateral side 28; width of lorica aperture from lateral view 14; contracted zooid length 60, width 24; stalk length 15, diameter in the central part 9.

Remarks: *Cyclodonta bipartita* was described by Stokes [1885] as *Cothurnia bipartita*, an epibiont of the harpacticoid copepod *Bryocamptus minutus* (Claus, 1863) from USA freshwaters. Matthes [1958] believed that *Cothurnia bipartita* has the unique mode of attaching the zooid to the bottom of the lorica via a series of membranes, and erected the new genus *Cyclodonta* Matthes, 1958 for the family Vaginicolidae, for which *Cothurnia bipartita* Stokes, 1885 is the type species.



Fig. 2. Localization of *Cyclodonta bipartita* (Stokes, 1885) on harpacticoid host

Рис. 2. Локализация *Cyclodonta bipartita* (Stokes, 1885) на гарпактикоиде

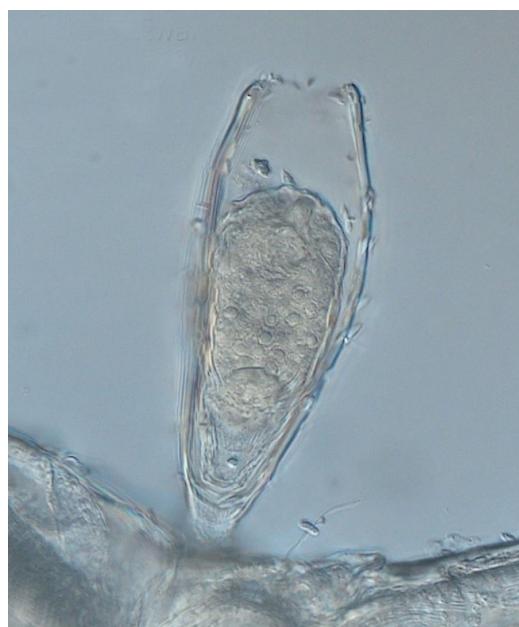


Fig. 3. *Cyclodonta bipartita* (Stokes, 1885)

Рис. 3. *Cyclodonta bipartita* (Stokes, 1885)

Clamp [1991] transferred the genus *Cyclodonta* into the family Usconophryidae Clamp, 1991, based on the presence the *Opercularia*-like peristome in the type species. However, Jankowski [2007] believed that this was a mistake. Lynn [2008] also keep the genus *Cyclodonta* in Vaginicolidae. In Jankowski's [2007] opinion the type species of *Cothurnia* Ehrenberg, 1831 (*C. imberbis* Ehrenberg, 1831) and the type species of *Cyclodonta* (*Cothurnia bipartita*) are identical. Hence, the genus *Cyclodonta* is a junior synonym of *Cothurnia*. However, this view was not supported by other specialists.

Cyclodonta bipartita is a widely distributed species (USA, Germany, Switzerland, Hungary, Ukraine, Austria, Italy, Czech Republic) isolated as epibiont on freshwater harpacticoid copepods [Voigt, 1902; Penard, 1914, 1922; Kahl, 1935; Stiller, 1953; Matthes, 1958; Foissner, 1979; Warren and Paynter, 1991; Konstantynenko, 2014]. Jankowski [2007] has also mentioned that the species was observed as an epibiont of brackish water and marine harpacticoid copepods, but without any details of finds in the such conditions.

Krucinska & Simon [1968] isolated *Cothurnia bipartita* from the crayfish *Cambarus affinis* and *Astacus leptodactylus*. Warren and Paynter [1991] commented that *Cyclodonta* does not appear to be confined exclusively to harpacticoid copepod hosts, as suggested by Jankowski [1985], since it has also been isolated (as *Cothurnia bipartita*) from the crayfish. However, Schödel [2018] stated that the *Cothurnia* species found on crayfish gills by Krucinska and Simon [1968] is not *Cothurnia bipartita*.

This is the first find of *Cyclodonta bipartita* from the Falkland Islands. The habitat at these islands also suggests this species may tolerate some exposure of saltwater intrusion, or brackish water.

Acknowledgements: We thank Alex Jones (UK) for the collection and donation of the copepod specimen.

References

1. Allgén C. A. Die Suctorien der schwedischen Südpolar-Expedition (1901–1903) // Zoologischer Anzeiger. – 1955. – Bd. 154, h. 1/2. – S. 36–48.
2. Allgén C. A. Über zwei neue subantarktische Suctorien // Arkiv för Zoologi. – 1949. – Bd. 42B, h. 2. – S. 1–6.
3. Chatterjee T., Dovgal I., Calixto B. R. A., Corgosinho P. H. C., Zawal A. A new species of *Tokophrya* (Ciliophora: Suctorea) found on hyporheos harpacticoid copepod of the genus *Forficatocaris* (Crustacea: Copepoda) from Brazil // Protistology. – 2023. – Vol. 17, no. 3. – P. 172–177. – <https://doi.org/10.21685/1680-0826-2023-17-3-5>
4. Chatterjee T., Dovgal I., Nanajkar M. Report of ciliate epibionts (Ciliophora, Suctorea) on meiobenthic invertebrates from Indian coast near Karwar, Karnataka // Protistology. – 2020. – Vol. 14, no. 2. – P. 84–88. – <https://doi.org/10.21685/1680-0826-2020-14-1-6>
5. Chatterjee T., Dovgal I., Pešić V., Zawal A. A checklist of epibiont suctorian and peritrich ciliates (Ciliophora) on halacarid and hydrachnid mites (Acari: Halacaridae & Hydrachnidia) // Zootaxa. – 2018. – Vol. 4457, no. 3. – P. 415–430. – <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4457.3.4>
6. Chatterjee T., Fernandez-Leborans G., Chan B. K. K. New record of ciliate *Thecacineta calix* (Ciliophora: Suctorea) epibiont on *Agauopsis* halacarid mite (Acari, Halacaridae) from Taiwan // Scripta Scientiarum Naturalium. – 2012. – Vol. 2. – S. 121–127.
7. Chatterjee T., Fernandez-Leborans G., Marshall D. J. New records of ciliate epibionts (Ciliophora: Suctorea) from Brunei Darussalam // Marine Biodiversity Records. – 2014a. – Vol. 70. – Art. e87. – <https://doi.org/10.1017/S1755267214000943>
8. Chatterjee T., Fernandez-Leborans G., Ramteke R., Ingole B. New records of epibiont ciliates (Ciliophora) from Indian coast with descriptions of six new species // Cahiers de Biologie Marine. – 2013. – Vol. 54, no. 1. – P. 143–159. – <https://doi.org/10.21411/CBM.A.9A6F8D09>
9. Chatterjee T., Fernandez-Leborans G., Schizas N. V. Report of *Thecacineta calix* (Ciliophora: Suctorea) as an epibiont of harpacticoid copepods from Caribbean mesophotic reefs // Caribbean Journal of Science. – 2014b. – Vol. 48, no. 1. – P. 44–48. – <https://doi.org/10.18475/cjos.v48i1.a6>
10. Chatterjee T., Nanajkar M., Dovgal I., Sergeeva N., Bhabe S. New records of epibiont *Thecacineta calix* (Ciliophora, Suctorea) from the Caspian Sea and Angria Bank, Arabian Sea // Cahiers de Biologie Marine. – 2019. – Vol. 60, no. 5. – P. 445–451. – <https://doi.org/10.21411/CBM.A.C75BCBEA>
11. Chatterjee T., Sautya S., Narayan J., Katke D., Abibulaeva A., Dovgal I. Report of epibiont ciliates (Ciliophora) found on meiofauna from Mumbai and adjacent coastal areas of India // Cahiers de Biologie Marine. – 2024. – Vol. 65, no. 2. – P. 153–163. – <https://doi.org/10.21411/CBM.A.BA18781E>
12. Clamp J. C. Revision of the family Lagenophryidae Butschli, 1889 and description of the family Usconophryidae n. fam.

- (Ciliophora, Peritrichia) // Journal of Protozoology. – 1991. – Vol. 38, iss. 4. – P. 355–377. – <https://doi.org/10.1111/j.1550-7408.1991.tb01373.x>
13. Dovgal I., Chatterjee T., Ingole B. An overview of suctorian ciliates (Ciliophora: Suctorea) as epibionts of halacarid mites (Acari, Halacaridae) // Zootaxa. – 2008. – Vol. 1810, no. 1. – P. 60–68. – <https://doi.org/10.11646/zootaxa.1810.1.4>
14. Durucan F., Dovgal I. New reports of suctorian ciliates (Ciliophora, Suctorea) epibiont on halacarid mites and an harpacticoid copepod from Türkiye // Marine Biological Journal. – 2022. – Vol. 7, no. 3. – P. 28–33. – <https://doi.org/10.21072/mbj.2022.07.3.03>
15. Fernandez-Leborans G., Chatterjee T., Grego M. New records of epibiont ciliates (Ciliophora) on Harpacticoida (Copepoda, Crustacea) from the Bay of Piran (Gulf of Trieste, Northern Adriatic) // Cahiers de Biologie Marine. – 2012. – Vol. 53, no. 1. – P. 53–63. – <https://doi.org/10.21411/CBM.A.B958348C>
16. Foissner W. Peritrichie Ciliaten (Protozoa: Ciliophora) aus alpinen Kleingewässern // Zoologische Jahrbücher Systematik. – 1979. – Bd. 106. – S. 529–558.
17. Ingole B., Singh R., Sautya S., Dovgal I., Chatterjee T. Report of epibiont *Thecacineta calix* (Ciliophora: Suctorea) on deep-sea *Desmodora* (Nematoda) from the Andaman Sea, Indian Ocean // Marine Biodiversity Records. – 2010. – Vol. 3. – Art. e46. – <https://doi.org/10.1017/S1755267209990777>
18. Jankowski A. V. Life cycles and systematics of genera in the groups *Scyphidia*, *Heteropolaria*, *Zoothamnium* and *Cothurnia* (Peritrichia) // Trudy Zoologicheskogo Instituta Akademii Nauk SSSR. – 1985. – Vol. 129. – P. 74–100. [in Russ. with Eng. summ.].
19. Jankowski A. V. Review of taxa Phylum Ciliophora Doflein, 1901 // Protista : Handbook on Zoology / ed. A. F. Alimov. – St. Petersburg : Nauka, 2007. – Pt. 2. – P. 415–993. [in Russ.]
20. Kahl A. Urtiere oder Protozoa I: Wimpertiere oder Ciliata (Infusoria), eine bearbeitung der freilebenden und ectocommen-
- salen infusorien der Erde, unter ausschluss der marinens Tintinnidae. 4. Peritrichia und Chonotrichia. – Jena : G. Fischer, 1935. – [235] s. (651–886). – (Die Tierwelt Deutschlands und der angrenzenden meeresteile nach ihrer merkmalen und nach ihrer lebensweise ; Th. 30).
21. Konstantynenko L. The list of the freshwater Peritrichia of the Ukraine (in Ukrainian) // Visnyk of the Lviv University. Series Biology. – 2014. – Vol. 64. – P. 21–32.
22. Krucinska J., Simon E. On the parasites and epibionts of the branchial cavity in crayfish at Wroclaw and vicinity // Przeglad Zoologiczny. – 1968. – T. 12, z. 3. – S. 288–290.
23. Lynn D. H. The ciliated Protozoa. Characterization, classification and guide to the literature. – 3rd ed. – Dordrecht : Springer, 2008. – 605 p.
24. Matthes D. Das peritrichie Ciliat *Cyclodonta bipartita* (Stokes) nov. gen // Archiv für Protistenkunde. – 1958. – Bd. 102. – S. 481–500.
25. Penard E. Etudes sur les infusoires d'eau douce. – Geneve : George & Cie, 1922. – 331 p.
26. Penard E. Les Cothurnides Muscicoles // Mémoires de la Societe de Physique et d'Histoire Naturelle de Geneve. – 1914. – Vol. 38. – P. 19–65.
27. Schödel H. Kompendium der auf Wirbellosen epizoisch lebenden limnischen sessilen Peritrichia (Ciliophora) West-, Mittel- und Osteuropas // Denisia. – 2018. – Bd. 41. – S. 47–294.
28. Stiller J. Epizoische Peritrichen aus dem Balaton III // Hydrobiologia. – 1953. – Vol. 5, iss. 1/2. – P. 189–221. – <https://doi.org/10.1007/BF00023590>
29. Stokes A. Notices of new freshwater infusoria. III // The American Monthly Microscopical Journal. – 1885. – Vol. 6. – P. 121–127.
30. Voigt M. V. Neue organismen aus plöner Gywässern // Forschungberichte aus der Biologischen Station zu Plön. – 1902. – Bd. 9. – S. 33–46.
31. Warren A., Paynter J. A revision of *Cothurnia* (Ciliophora: Peritrichida) and its morphological relatives // Bulletin of the British Museum (Natural History). Zoology. – 1991. – Vol. 57. – P. 17–59.

**ОБНАРУЖЕНИЕ CYCLODONTA BIPARTITA (CILIOPHORA) НА ПОДВЕРЖЕННОМ
ВОЗДЕЙСТВИЮ МОРСКОЙ ВОДЫ ГАЛЕЧНОМ ПЛЯЖЕ НА ФОЛКЛЕНДСКИХ
ОСТРОВАХ (ЮЖНАЯ ЧАСТЬ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА)**

Чаттерджи Т.¹, Довгаль И.², Маршалл Д. Дж.³

¹Хирапур, Дханбад, Джаркханд, Индия,

e-mail: drtchatterjee@yahoo.co.in

²ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О Ковалевского РАН»,

г. Севастополь, Российская Федерация,

e-mail: dovgal-1954@mail.ru

³Университет Брунея-Даруссалама, Гадонг, Бруней-Даруссалам,

e-mail: david_marshall@ubd.edu.bn

Аннотация: Инфузория-перитриха *Cyclodonta bipartita* (Stokes, 1885) обнаружена как эпифионт гарпактикоиды из зоны заплеска на Фолклендских островах (Южная Атлантика). Гарпактикоид-базибионт отмечена в интерстициальной пресной воде на границе галечного пляжа, куда проникает морская вода. Это первая находка данного вида инфузорий на Фолклендских островах. Особенности местообитания свидетельствуют о том, что данный вид может обитать в солоноватой воде. Также обсуждаются таксономия и распространение вида.

Ключевые слова: инфузория, эпифионт, копепода-хозяин, базибионт, Фолклендские острова

About the Authors

Chatterjee Ph. D., D. Sc., Independent researcher, Near Hari Mandir Road, Hirapur, Dhanbad 826001, Jharkhand, India, e-mail: drtchatterjee@yahoo.co.in

Dovgal Dr. Sc. in Biology, Professor, Chief Researcher in A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, 2, Nakhimov ave., Sevastopol, 299011, Russian Federation, e-mail: dovgal-1954@mail.ru

Marshall Ph. D. and Professor of Marine Biology in Environmental and Life Sciences, Universiti Brunei Darussalam, Tungku Link, Gadong BE 1410, Brunei Darussalam, e-mail: david_marshall@ubd.edu.bn

Поступила в редакцию 02.06.2025

Принята к публикации 30.10.2025

**ЭНДЕМИКИ ГОРНЫХ РУЧЬЁВ ЛАМДОНГА (ВЬЕТНАМ):
DALATOMON LOXOPHRYS И *MACROBRACHIUM DALATENSE* ***

**Чеснокова И. И.¹, Ку Нгуен Динь², Карпова Е. П.¹,
Куршаков С. В.¹, Нгуен Чан Хоай Бао²**

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

²Южное отделение Совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского
и технологического центра, Хошимин, Вьетнам,

e-mail: chii@ibss-ras.ru

Аннотация: Приводятся новые данные по распространению и некоторым морфологическим особенностям двух эндемичных видов ракообразных — краба *Dalatomon loxophrys* (Kemp, 1923) и креветки *Macrobrachium dalatense* Nguyên, 2003, обнаруженных в горных ручьях провинции Ламдонг (Вьетнам). Представлена морфометрическая характеристика *D. loxophrys* на основе выборки из 21 особи, показавшая выраженную вариабельность длины и ширины карапакса, а также массы животных. *M. dalatense* зарегистрирован в единственной локации — у водопада Нда Bìnх. Обсуждается уязвимость популяций в связи с небольшим ареалом обитания, который подвергается антропогенному воздействию, а также предлагаются меры охраны.

Ключевые слова: *Dalatomon loxophrys*, *Macrobrachium dalatense*, эндемики, ракообразные, горный Вьетнам, Ламдонг, Юго-Восточная Азия

Введение

Малые горные водотоки Вьетнама признаны одним из ключевых центров эндемизма и биоразнообразия в Юго-Восточной Азии. Из 49 известных науке пресноводных видов крабов Вьетнама 42 являются эндемиками [Do, 2014]. Многие виды, обитающие здесь, остаются малоизученными, а их популяции крайне уязвимыми из-за высокой антропогенной нагрузки. Одним из важных центров эндемизма является провинция Ламдонг, расположенная на Центральном плато (Tây Nguyễn). Гидрологическая сеть Ламдонга, включающая истоки одной из крупнейших рек Южного Вьетнама — Донгнай, характеризуется значительным разнообразием биотопов: от быстрых ручьёв в нетронутых лесных массивах до водотоков, подверженных существенному влиянию человека. Такая мозаичность условий создаёт предпосылки для формирования уникальных эндемичных комплексов водной фауны, чьё существование находится под угрозой. Поэтому чрезвычайно важно получение новых данных о местообитаниях редких, узкоареальных видов, разработка мер по их детальному изучению и сохранению.

Целью работы является представление новых данных о двух эндемичных видах десятиногих ракообразных — краба *Dalatomon loxophrys* (Kemp, 1923) (Potamidae Ortmann, 1896) и креветки *Macrobrachium dalatense* Nguyễn, 2003 (Palaemonidae Rafinesque, 1815), а также выявление актуальных угроз для их популяций и возможные меры охраны.

*Работа выполнена в рамках темы Совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра Эколан Э-3.6 «Современное состояние экосистем и разнообразие гидробионтов бассейна реки Донгнай» (задача 1 «Оценка разнообразия и обилия в сообществах рыб и декапод, их пространственной и временной изменчивости (верховья реки в пров. Ламдонг и участки в границах национального парка Каттьен)») и частично — 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).

Материалы и методы

В ходе экспедиции в провинцию Ламдунг (Lâm Đồng; Вьетнам; 27.04–13.05.2025) (рис. 1) было проанализировано 34 локации на различных водотоках, формирующих верховье реки Донгнай (Đồng Nai) (реки Đa Nhim, Đa Dăng, La Ngă и многочисленные ручьи). Проводился замер температуры воды и общей минерализации с использованием TDS-3 (Южная Корея). В двух локациях обнаружены эндемичные для Вьетнама виды ракообразных — краб *Dalatomon loxophrys* (Kemp, 1923) и креветка *Macrobrachium dalatense* Nguyêñ, 2003 (рис. 2).

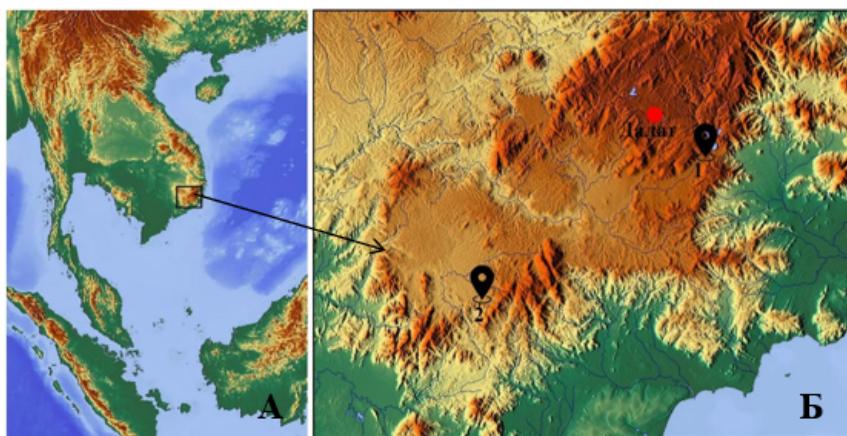


Рис. 1. Районы отбора проб. А — Юго-Восточная Азия; Б — Центральное плато (Вьетнам): 1 — ручей у водопада Hòa Bình, 2 — ручьи у водохранилища Hòn Thuận

Первая локация представляет собой горный ручей у водопада Hòa Bình, расположенный к юго-западу от города D'Ran (рис. 1Б) (координаты: 11°49'4" с. ш., 108°36'39" в. д.; температура воды 20,5–21,1 °C; общая минерализация 27 мг/дм³). Русло ручья проходит по ущелью с валунами, перекатами и плёсами. Водная растительность развита слабо, но отмечено значительное количество листового опада от расположенных по берегам деревьев. Здесь обнаружены оба вида (*D. loxophrys* и *M. dalatense*).

Вторая локация — система горных лесных ручьёв, питающих водохранилище Hòn Thuận и представляющих собой типичные горные водотоки в зоне переходного биотопа между тропическим лесом и агроландшафтом (кофейные плантации) (рис. 1Б) (координаты: 11°24'43" с. ш., 107°56'47" в. д.; температура 25,3 °C; общая минерализация 54 мг/дм³). Часть из них глубиной не более 1–2 см с медленным течением, протекают по глинисто-каменистым грунтам вдоль дорог или на склонах гор. Другие ручьи более глубокие, с умеренной скоростью течения, характеризуются выраженными перекатами и плёсами. Здесь отмечен только *D. loxophrys*.

D. loxophrys — мелкий краб с трапециевидным панцирем (рис 2А). Характерным признаком вида является строение терминального сегмента гонопод G1 (рис. 2А. 1). Он цилиндрический, изогнутый, усечённый, снабжён небольшим прозрачным бугорком [Dang, Ho, 2012].

Креветка *M. dalatense* отличается от других видов рода наличиемrudimentарного внутреннего отростка (appendix interna) на эндоподите первой плеоподы самца (рис. 2Б. 2). Более того, это единственный вид *Macrobrachium*, встречающийся в высокогорных ручьях севера провинции Ламдунг [Nguyêñ, 2003].

Отбор животных производился вручную, а также с использованием сачков различного диаметра (от 30 до 70 см), круглой, треугольной и прямоугольной формы и размера ячеи (от 0,1 до 10 мм). Видовая идентификация осуществлялась по литературным источникам [Kemp, 1923; Nguyêñ, 2003; Dang, Ho, 2012], современные названия указаны согласно базе данных WoRMS [WoRMS]. Производилось измерение массы, длины и ширины карапакса *D. loxophrys*.



Рис. 2. Внешний вид эндемиков: *Dalatomon loxophrys* (А) и *Macrobrachium dalatense* (Б). 1 — гоноподы самца, стрелкой отмечен терминальный сегмент, 2 — первая плеопода самца, стрелкой отмеченrudиментарный отросток (appendix interna)

У *M. dalatense* измерялась общая длина (*TL*). Для определения таксономического положения креветки выполнялся подсчёт зубцов на дорсальном и вентральном краях рострума. На основании этих данных составлялась формула рострума:

$$\frac{a - b(c - d)}{e - f}, \quad (1)$$

где *a* — общее минимальное и *b* — общее максимальное количество зубцов на дорсальном крае рострума; *c* — минимальное и *d* — максимальное число дорсальных зубцов за орбитальным краем рострума; *e* — минимальное и *f* — максимальное число зубцов на вентральном крае рострума.

Результаты и обсуждение

Характеристика морфометрических показателей краба *D. loxophrys* приведена в таблице 1. Анализ выявил значительный разброс размеров и массы, что, вероятно, связано с наличием в выборке разновозрастных особей. Максимальные размеры самок оказались несколько больше известных ранее (согласно С. Кемпу [Kemp, 1923] длина и ширина карапакса самок составила 22,7 и 28,1 мм, самцов — 20,3 и 24,8 мм соответственно). Соотношение полов в нашей выборке было близко к 1 : 1.

Таблица 1

Морфометрическая характеристика особей <i>Dalatomon loxophrys</i>			
Параметр	Самцы (n = 10)	Самки (n = 11)	Общее (n = 21)
Масса, г	$2,48 \pm 1,63$ 0,33–5,52	$3,13 \pm 2,72$ 0,67–9,44	$2,82 \pm 2,24$ 0,33–9,44
Длина карапакса, мм	$13,9 \pm 3,68$ 7,2–18,2	$15,2 \pm 4,54$ 9,0–24,4	$14,56 \pm 4,10$ 7,2–24,4
Ширина карапакса, мм	$16,92 \pm 4,65$ 9,2–23,1	$18,7 \pm 4,94$ 11–28,3	$17,86 \pm 4,77$ 9,2–28,3

Примечание: данные представлены как среднее значение $\pm SD$ (стандартное отклонение) в числителе и min — max (минимальное — максимальное значения) в знаменателе, n — число особей.

Креветка *M. dalatense*, которая ранее была отмечена в трёх локациях провинции Ламдонг [Nguyêñ, 2003], в районе Нôa Bìnх зарегистрирована впервые. Пойманы один самец (*TL* 51 мм) и восемь самок (*TL* от 21 до 56 мм). Формула рострума: $\frac{7-9(2-3)}{2-3}$.

В целом полученные нами данные согласуются с описанием вида. В диагнозе указывается, что на дорсальном крае рострума располагается от 7 до 9 зубцов (иногда 10), два или три из которых расположены на карапаксе, за краем глазной орбиты, а длина особей составляет 33–63 мм [Nguyễn, 2003]. Животные отправлены в коллекцию гидробионтов Южного отделения Совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра.

Проведённые исследования, включающие в том числе анализ литературных источников, свидетельствуют о том, что биология *D. loxophrys* и *M. dalatense* изучена слабо, необходимы дополнительные наблюдения. Требуется уточнение границ ареала. Отсутствие этих данных не позволяет оценить реальный статус популяций и рекомендовать эффективные охранные меры. В настоящее время местообитания двух описываемых эндемиков подвергаются разрушению в результате хозяйственной деятельности человека, такой как увеличение площадей кофейных плантаций и изменение гидрологического режима водотоков (вследствие возведения плотин, забора воды из горных ручьёв для нужд местного населения и пр.).

Для решения этих проблем предлагаются следующие меры:

1. Детальные исследования экологии, репродуктивной биологии и оценки численности популяций *D. loxophrys* и *M. dalatense*.
2. Инициирование процедуры включения *D. loxophrys* и *M. dalatense* в национальные и региональные Красные списки и разработка возможных рекомендаций по ограничению хозяйственной деятельности в границах их ареалов.

Заключение

Полученные результаты исследования свидетельствуют о более широком ареале обитания обсуждаемых видов. Изучение современного состояния популяции краба *D. loxophrys* дополняет и уточняет исторические данные, описанные в работе Кемпа [Kemp, 1923]: наши наблюдения выявили большие максимальные размеры самок. Основными лимитирующими факторами для обоих видов являются крайне узкий ареал, фрагментация и разрушение местообитаний в результате хозяйственной деятельности, а также отсутствие правового охранного статуса.

Список литературы

1. Dang N. T., Ho T. H. Freshwater crabs and shrimps from Vietnam (Palaemonidae, Atyidae, Parathelphusidae, Potamidae). – Hanoi : Publ. House for Science and Technology, 2012. – 264 p. (in Vietnamese).
2. Do V. T. Freshwater crabs of Vietnam: diversity and conservation // Journal of Vietnamese Environment. – 2014. – Vol. 6, nr 2. – P. 109–114. – <https://doi.org/10.13141/jve.vol6.no2.pp109-114>
3. Kemp S. On a collection of river crabs from Siam and Annam // Journal of the Natural History Society of Siam. – 1923. – Vol. 6, nr 1. – P. 1–42.
4. Nguyễn V. X. Two new freshwater prawns of the genus *Macrobrachium* (Decapoda, Caridea, Palaemonidae) from the highlands of South Vietnam // Crustaceana. – 2003. – Vol. 76, iss. 4. – P. 453–467. – <https://doi.org/10.1163/156854003322033852>
5. WoRMS. World Register of Marine Species. – URL: <https://www.marinespecies.org> (accessed: 27.08.2025).

ENDEMICS OF THE LAM DONG MOUNTAIN STREAMS (VIETNAM):
DALATOMON LOXOPHRYS AND MACROBRACHIUM DALATENSE
Chesnokova I. I.¹, Cu Nguyen Dinh², Karpova E. P.¹,
Kurshakov S. V.¹, Nguyen Tran Hoai Bao²

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

²Joint Russian-Vietnamese Tropical Research and Technological Center, Ho Chi Minh City, Vietnam,
e-mail: chii@ibss-ras.ru

Abstract: New data on the morphology and distribution of two endemic crustacean species — the crab *Dalatomon loxophrys* (Kemp, 1923) and the shrimp *Macrobrachium dalatense* Nguyêñ, 2003 — discovered in the mountain streams of Vietnam's Lâm Đồng Province are presented. A morphometric characterization based on a sample of 21 individuals is provided for *D. loxophrys*, revealing significant variability in carapace length and width, as well as animal weight. *M. dalatense* was recorded only at a single location near Hòa Bình Waterfall. The vulnerability of these populations due to their limited range and anthropogenic impact is discussed, along with proposed priority conservation measures.

Keywords: mountainous Vietnam, Lam Dong, endemics, crustaceans, *Dalatomon loxophrys*, *Macrobrachium dalatense*

Сведения об авторах

Чеснокова
Ирина
Игоревна.

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация, e-mail: chii@ibss-ras.ru

Ку Нгуен
Динь

кандидат биологических наук, заведующий лабораторией водной экологии, Южное отделение Совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра, г. Хошимин, Вьетнам, № 3, ул. 3/2, район VuonLai, 650000, e-mail: dinhcnd@gmail.com

Карпова
Евгения
Павловна

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация, e-mail: karpova@ibss-ras.ru

Куршаков
Сергей
Викторович

научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация, e-mail: Kurshakov@yandex.ru

Нгуен Чан
Хоай Бао

научный сотрудник лаборатории водной экологии, Южное отделение Совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра, г. Хошимин, Вьетнам, № 3, ул. 3/2, район VuonLai, 650000, e-mail: nguyentranhoaibao3006@gmail.com

Поступила в редакцию 29.08.2025
Принята к публикации 13.11.2025

СТРУКТУРА, ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ
И ДИНАМИКА ЭКОСИСТЕМ

УДК 581.526.325(262.5)"321"

DOI: [10.21072/eco.2025.10.4.04](https://doi.org/10.21072/eco.2025.10.4.04)

ОЦЕНКА СТРУКТУРНЫХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ФИТОПЛАНКТОНА ЧЁРНОГО МОРЯ В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД 2023 г.*

Фарбер А. А., Стельмах Л. В., Ковалева И. В., Бабич И. И.

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

г. Севастополь, Российская Федерация,

e-mail: anastasiafarber@yandex.ru

Аннотация: По данным, полученным в 126-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» в марте — апреле 2023 г., выполнена оценка современного состояния фитопланктона Чёрного моря у берегов Крымского полуострова. Необходимость подобной оценки была продиктована климатическими изменениями, оказывающими влияние на черноморскую экосистему. Получены данные по содержанию биогенных веществ в воде, хлорофиллу *a*, величине первичной продукции, биомассе и видовому составу фитопланктона. Концентрация хлорофилла *a* в поверхностном слое варьировала от 0,6 до 1,5 мг/м³, величина первичной продукции здесь находилась в диапазоне 1–72 мг С·м⁻³·сут⁻¹, а её интегральные значения в фотосинтетической зоне преимущественно составляли 200–300 мг С·м⁻²·сут⁻¹. Биомасса фитопланктона на поверхности изменялась от 5 до 84 мг С·м⁻³, но, как правило, редко превышала 30 мг С·м⁻³. По биомассе доминировала крупноклеточная диатомовая водоросль *Pseudosolenia calcar-avis*, а по численности — представители рода *Pseudo-nitzschia*, однако их развитие не достигало уровня цветения. Было выявлено, что азот и фосфор в исследованный период ограничивали развитие фитопланктона. Сопоставление полученных результатов с литературными данными позволило оценить изменения структурных и функциональных характеристик фитопланктона, наблюдаемые в настоящее время в прибрежных районах Чёрного моря.

Ключевые слова: фитопланктон, хлорофилл *a*, первичная продукция, биомасса, Чёрное море

Введение

Существенным фактором, влияющим на все экосистемы Земли, является глобальное изменение климата. В Мировом океане за последние сто лет наблюдается увеличение температуры вод примерно на 1 °C [Häder, Gao, 2015]. В связи с этими изменениями экосистема Чёрного моря также подверглась существенным преобразованиям. Был выявлен тренд к увеличению температуры поверхностных вод, который наблюдался с начала XXI века. Исследования, проведённые в Севастопольской бухте [Stelmakh, Kovrigina, 2021], показали, что за период с 2000 по 2020 г. температура поверхностного слоя вод повысилась на 1 °C зимой и на 2 °C летом. Ранее температурные тренды были выявлены в поверхностном слое Чёрного моря: для глубоководного района отмечено повышение на 4 % за период с 1998 по 2015 г. [Ковалева, Финенко, Суслин, Тренды изменения ... , 2022], для шельфовых районов — на 3–5,9 % в различных частях моря за этот же период [Ковалева, Финенко, Суслин, Тренды многолетних изменений ... , 2022; Ковалева, Финенко, Суслин, 2021].

*Работа выполнена в рамках государственного задания «Трансформация структуры и функций экосистем морской пелагии в условиях антропогенного воздействия и изменений климата» (2024–2026 гг., регистрационный номер: 124030400057-4).

С начала 2000-х годов содержание загрязняющих веществ, так же как и биогенных, в прибрежных водах у Севастополя постоянно растёт [Стельмах, 2024; Stelmakh, Kovrigina, Gorbunova, 2020]. Основной причиной этого является усиленное их поступление с речными водами и хозяйственно-бытовыми стоками [Совга и др., 2014; Orekhova, Varenik, 2018]. Совместное влияние повышения температуры вод и увеличения степени загрязнения оказали существенное влияние на видовой состав фитопланктона. Ранее в зимне-весенний период и осенью наблюдалось цветение мелких диатомовых водорослей, таких как *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve 1873, а также видов рода *Chaetoceros* Ehrenberg, 1844 [Stelmakh, Kovrigina, Gorbunova, 2020; Stelmakh, Georgieva, 2014]. В исследованиях 2020 г. показано, что доминирующими видами в фитопланктоне являлись крупноклеточные представители диатомовых водорослей, такие как *Pseudosolenia calcar-avis* (Schultze) B.G. Sundström 1986 и *Proboscia alata* (Brightwell) Sundström 1986 [Stelmakh, Kovrigina, 2021].

Мы полагаем, что подобные изменения в видовой и размерной структуре фитопланктона характерны как для открытого прибрежья Чёрного моря, так и для его континентального склона. Исследования, проведённые нами, охватывают ранний весенний период. Это один из наиболее важных сезонов для экосистемы Чёрного моря, так как в это время происходит конвективное перемешивание вод. Данный процесс играет большую роль в развитии фитопланктона не только весной, но и в течение всего года, так как в это время происходит активный транспорт питательных веществ из более глубоких слоёв моря на поверхность [Финенко и др., 2021]. В суровые, холодные зимы, как правило, происходит более интенсивный вынос биогенных веществ на поверхность, чем в тёплые [Финенко, Суслин, Чурилова, 2009; Mikaelyan et al., 2017]. Ещё один важный параметр, на который влияют зимние температуры, — формирование сезонного термоклина, что также оказывает воздействие на структурные и функциональные характеристики фитопланктона. Например, в работе [Stelmakh et al., 2024] отмечено слабое цветение *Emiliania huxleyi* (Lohmann) W.W. Hay & H. Mohler 1967 и в качестве одной из основных причин была названа большая толщина верхнего квазиднородного слоя (ВКС), что являлось следствием высоких зимних температур.

Таким образом, важнейшей задачей современных исследований является оценка текущего состояния и выявление возможных путей развития компонентов морских экосистем при нынешних климатических условиях и уровне антропогенной нагрузки. В настоящей работе для оценки современного состояния морского фитопланктона в прибрежной части Чёрного моря проводится сравнение литературных данных с экспериментальными, полученными в весенний период 2023 г. Цель работы — оценить структурные и функциональные характеристики фитопланктона в прибрежной зоне Чёрного моря в марте — апреле 2023 г.

Материал и методы

Исследования проводились на борту НИС «Профессор Водяницкий» в период с 15 марта по 7 апреля 2023 г. (126-й рейс). Пробы отбирали вблизи южного и юго-восточного побережья Крымского полуострова, на 30 станциях, расположенных как в шельфовой зоне (общая глубина до 200 м), так и на континентальном склоне (общая глубина от 200 до 1500 м) (рис. 1). Отбор проводили в слое 0–80 м с использованием кассеты батометров зондирующего комплекса Idronaut Ocean Seven 320 Plus M, оснащённого флуоресцентным датчиком Cyclops-6K (Turner Designs). Горизонты отбора определялись в процессе гидрологического зондирования, по 4–6 горизонтов на каждой станции.

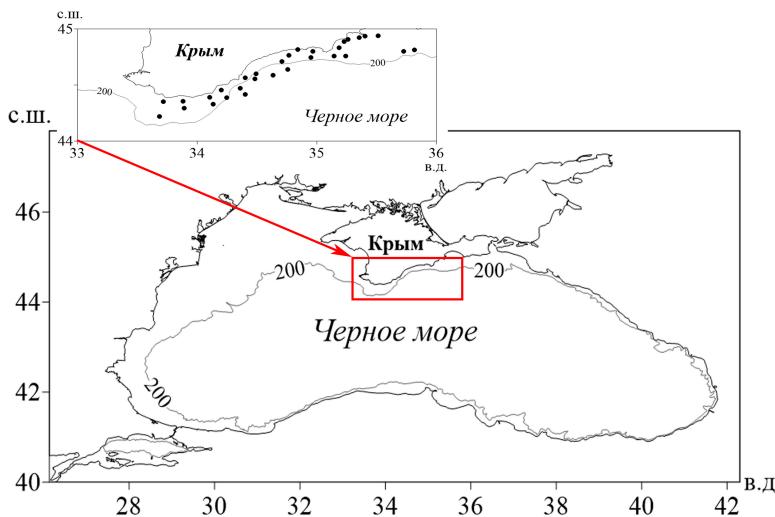


Рис. 1. Район и станции отбора проб в Чёрном море в марте — апреле 2023 г.

Для определения концентрации хлорофилла *a* пробы морской воды фильтровали через стекловолокнистые фильтры типа GF/F (Whatman) диаметром 25 мм. Пигменты экстрагировали в 3 мл 90%-ного ацетона в течение 12 ч при температуре 8 °С. Концентрацию пигмента измеряли с использованием лабораторного флуориметра Turner Designs Trilogy (США), откалиброванного по чистому хлорофиллу (Sigma Chemical Co) [Intergovernmental Oceanographic … , 1994].

Для определения качественного и количественного состава фитопланктона пробы морской воды объёмом 2 л сгущали в воронке обратной фильтрации до объёма 50–70 мл [Stelmakh, Georgieva, 2014] с использованием нуклепорового фильтра с диаметром пор 1 мкм, затем фиксировали 2%-ным формальдегидом.

Численность, линейные размеры и видовой состав фитопланктона определяли в камере Нажотта (объём 0,1 мл) в 3–5 повторностях под световым микроскопом ZEISS Primo Star при увеличении ×400. Средний объём клеток рассчитывали как отношение общего объёма клеток к их численности. Содержание углерода в клетках оценивали на основе среднего объёма клеток отдельного вида с использованием уравнений, приведённых для диатомовых и динофлагеллят в работе [Menden-Deuer, Lessard, 2000], и уравнений для кокколитофорид [Montagnes et al., 1994]. Идентификацию видов проводили с использованием определителей [Identifying … , 1996] и интернет-ресурса AlgaeBase [Guiry M., Guiry G.].

Интенсивность света, падающего на поверхность моря, измеряли с помощью квантометра LI-1500. Затем рассчитывали интегральную суточную величину фотосинтетически активной радиации (ФАР) для поверхностного слоя.

На основании данных по прозрачности воды, полученных с помощью диска Секки, рассчитывали протяжённость эвфотической зоны (ЭФЗ) по следующему уравнению [Маньковский, Маньковская, Соловьев, 2009]:

$$Z_{eu} = 3 \cdot Z_s, \quad (1)$$

где Z_{eu} — глубина эвфотической зоны, м; Z_s — глубина видимости диска Секки, м.

Нижняя граница верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) определялась по данным глубоководного зондирования как глубина, на которой относительная плотность на 0,07 выше, чем в поверхностном слое [Кубряков и др., 2019].

Первичную продукцию рассчитывали как для поверхностного слоя (0–1 м), так и интегральную для зоны фотосинтеза. Методы расчёта подробно описаны в работах [Finenko, Kovalyova, Suslin, 2019; Kovalyova, Suslin, 2022]. Переменными выступали такие входные параметры: продолжительность дня, глубина эвфотической зоны, концентрация хлорофилла *a* и температура воды на поверхности, количество поступающей на поверхность солнечной энергии, коэффициент диффузного поглощения света.

Концентрацию биогенных веществ измеряли с использованием методов, описанных в [Methods ..., 1999]. Определение нитратного азота проводили колориметрически после его восстановления на кадмивых колонках до нитритного азота. В качестве восстановителя применяли металлический кадмий, в качестве комплексующего агента — динатриевую соль ЭДТА (трилон Б). Содержание аммонийного азота оценивали по методу Сэджи — Солорzano. Фосфаты выявляли колориметрически, по модифицированному методу Морфи — Райли. Силикаты определяли колориметрически, по реакции с образованием голубого кремнево-молибденового комплекса (метод Королёва).

Статистическую обработку данных осуществляли с помощью пакета программного обеспечения Microsoft Excel 2019, построение карт и графиков — в программах Surfer 13 и Grapher 11.

Результаты

Гидрологические параметры вод и концентрация биогенных веществ. В весенний период (март — апрель) 2023 г. толщина верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) варьировала в диапазоне от 19 до 186 м. Её средняя величина составила (32 ± 19) м для станций шельфовой зоны и (81 ± 64) м для района континентального склона. Среднее значение по всем исследованным станциям составило (48 ± 43) м. Температура воды в поверхностном слое находилась в диапазоне от 9,4 до 10,0 °C. Значения солёности на всех станциях были равны 18,7. Величина фотосинтетически активной радиации (ФАР) на поверхности варьировала от 7 до 45 моль фотонов· $\text{м}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$, в среднем составляя (21 ± 12) моль фотонов· $\text{м}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$. Протяжённость эвфотической зоны находилась в пределах от 18 до 32 м при среднем значении (23 ± 4) м для всех станций.

Исходя из данных, представленных в таблице 1, глубина ВКС на большинстве станций превышала глубину ЭФЗ в среднем в 2–4 раза, что обусловило нахождение около трети хлорофилла за пределами освещённой зоны (таблица 1).

Концентрация нитратов в поверхностном слое на большей части исследованного полигона находилась в диапазоне от 0,5 до 2,0 мкМ (рис. 2а). Относительно высокие значения (более 1,0 мкМ) наблюдались в основном в восточной части, а также на некоторых участках возле берега. Содержание аммония не превышало 0,3 мкМ приблизительно на половине полигона, в центральной части концентрация была более высокой и достигала 0,8 мкМ (рис. 2б).

Содержание фосфатов в исследуемый период также было низким (рис. 2в). Более чем на половине исследованного полигона их концентрация варьировала в пределах от 0,02 до 0,06 мкМ с повышением до 0,1 мкМ на некоторых участках в центральной и восточной частях (рис. 2г). Концентрация силикатов, напротив, была высокой. На большей части полигона, охватывающей преимущественно район континентального склона, их содержание превышало 3,5 мкМ. В прибрежных районах концентрация силикатов находилась в пределах 2,5–3,0 мкМ.

Таблица 1

Абиотические параметры исследованных вод в марте — апреле 2023 г.

№ ст.	Глубина, м	$t_{\text{пов}}$, °C	ВКС, м	ЭФЗ, м	ВКС/ЭФЗ	I_0 , моль фотонов·м ⁻² ·сут ⁻¹	Хл <i>a</i> за пределами ЭФЗ, %
шельфовая зона (< 200 м)							
105	94	9,5	80	18	4,5	39	-
104	137	9,5	19	27	0,7	39	46
117	97	9,4	37	18	2,1	7	40
139.1	155	10,0	20	27	0,7	7	22
151	70	9,9	26	21	1,2	13	40
155	57	9,9	25	18	1,4	18	52
158	52	9,8	21	24	0,9	18	10
160.1	45	10,0	18	18	1,0	13	19
161.1	78	9,8	30	24	1,2	13	46
171	65	9,6	27	30	0,9	8	-
174	82	9,6	54	23	2,4	8	33
Среднее ± CO	85 ± 35	$9,8 \pm 0,2$	32 ± 19	23 ± 4	$2,0 \pm 1,1$	17 ± 12	34 ± 14
зона континентального склона (200–1500 м)							
135.1	1140	9,7	91	21	4,3	22	43
136.1	768	9,8	186	21	8,9	22	45
138.1	968	9,9	66	21	3,1	7	20
149	1527	10,0	24	18	1,3	13	47
149.2	1285	10,0	37	32	1,2	34	3
Среднее ± CO	1138 ± 291	$9,9 \pm 0,1$	81 ± 64	23 ± 5	$4,0 \pm 3,0$	20 ± 10	32 ± 19

Примечание: CO — стандартное отклонение, $t_{\text{пов}}$ — температура на поверхности, ВКС/ЭФЗ — отношение глубины ВКС к глубине ЭФЗ, Хл *a* — хлорофилл *a*, I_0 — значения ФАР на поверхности.

Для устойчивого развития фитопланктона оптимальным сочетанием количества биогенных элементов является пропорция Редфилда, согласно которой концентрации растворённых в воде кремния, фосфора и азота ($N : P : Si$) соотносятся как 16 : 1 : 16 [Turner et al., 2003]. В рассматриваемый период на исследованном полигоне отношение азота к фосфору ($N : P$), как правило, было выше 20, а в отдельных прибрежных районах превышало 40 (рис. 2д) и составляло в среднем 33. Лишь на небольшой части полигона оно было близко к оптимальному (15–20). Отношение $Si : N$ также в основном было выше оптимального значения для всей исследованной акватории и составляло более 3 (рис. 2е).

Таким образом, в исследуемый период (март — апрель 2023 г.) в поверхностном слое наблюдались самые низкие концентрации фосфора и высокие концентрации кремния при промежуточных значениях азота. Это свидетельствует о том, что в процессе развития фитопланктона лимитирующим фактором являлся, как правило, фосфор.

Суммарная концентрация нитратов в ЭФЗ на большей части полигона не превышала 30 мкМ (рис. 3а). Отдельные максимумы (выше 35–40 мкМ) отмечены в основном в прибрежной зоне. Содержание аммония повышалось по мере удаления от берега (рис. 3б). Наиболее высокие его концентрации (более 12 мкМ) наблюдались в центральной части полигона. Интегральное содержание фосфора в ЭФЗ было низким, аналогично таковому на поверхности (рис. 3в). Низкие концентрации (0–1,5 мкМ) наблюдались более чем на половине исследуемой акватории. Распределение содержания силикатов в ЭФЗ характеризовалось высокими значениями (200 мкМ и более) в центре полигона, тогда как в западной и восточной частях их концентрации были ниже (60–120 мкМ) (рис. 3г).

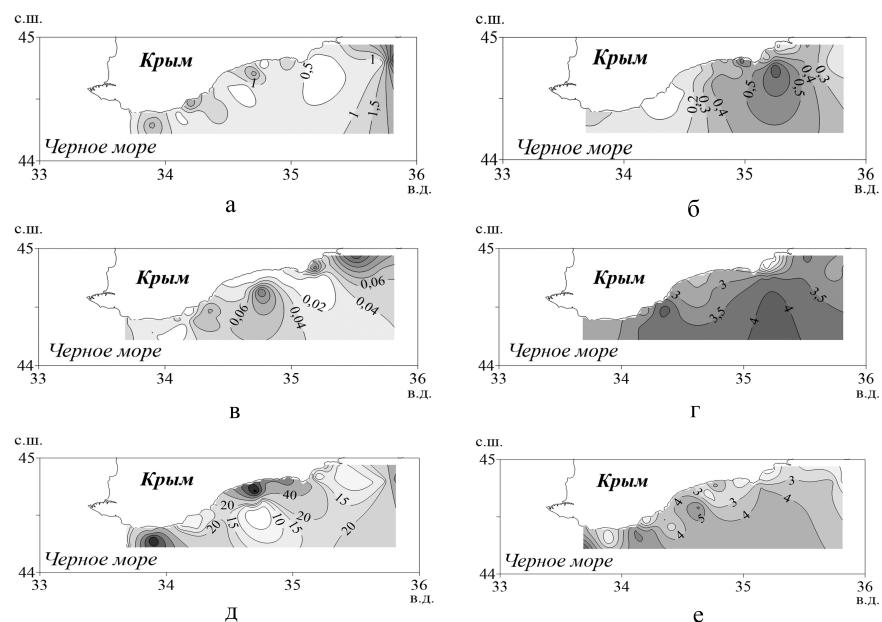


Рис. 2. Распределение концентрации питательных веществ в слое 0–1 м: нитраты (а), аммоний (б), фосфаты (в), силикаты (г). Отношения азота к фосфору (д) и кремния к азоту (е) в поверхностном слое Чёрного моря в марте — апреле 2023 г.

Средние значения соотношения N : P во всём слое ЭФЗ были выше, чем на поверхности, а область оптимальных значений занимала меньшую часть акватории. Как правило, они превышали 20, а вблизи берега — 30 (рис. 3д). Отношение Si : N также было высоким — более 4 на всём исследованном полигоне (рис. 3е).

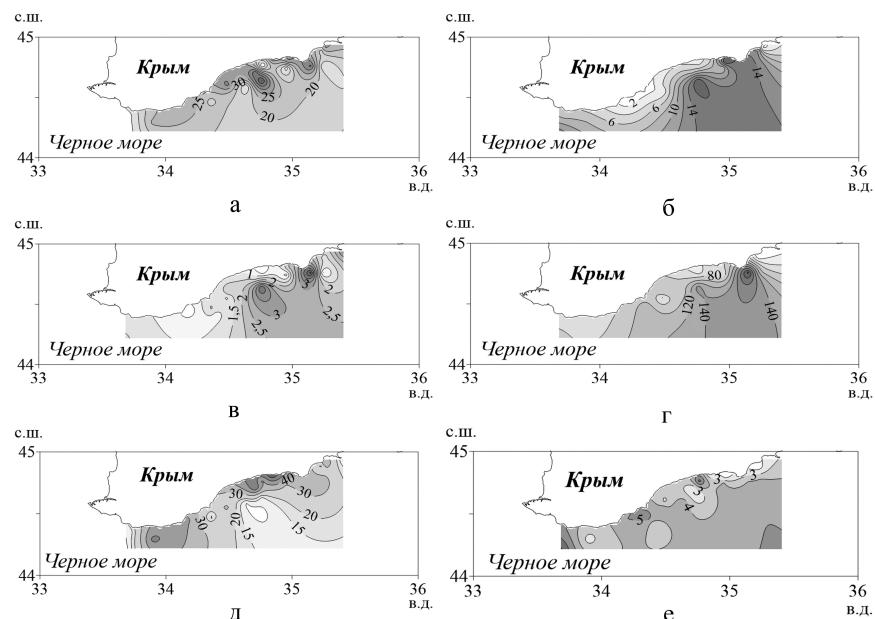


Рис. 3. Распределение суммарных концентраций питательных веществ в эвфотической зоне (ЭФЗ): нитраты (а), аммоний (б), фосфаты (в), силикаты (г). Средние отношения азота к фосфору (д) и кремния к азоту (е) в ЭФЗ Чёрного моря в марте — апреле 2023 г.

Содержание хлорофилла *a* и первичная продукция в поверхностном слое и в ЭФЗ. В весенний период 2023 г. концентрация хлорофилла *a* в поверхностном слое была низкой (рис. 4а). Наименьшими значениями характеризуется центр исследованного полигона, где концентрация пигмента составила до $0,6 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-3}$. В западной части наблюдались высокие концентрации хлорофилла с максимумом $1,5 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-3}$ в районе Ласпинской бухты. Первичная продукция на поверхности варьировала в диапазоне от 1 до $72 \text{ мг С}\cdot\text{м}^{-3}\cdot\text{сут}^{-1}$. Наиболее высокие значения выявлены в западной части полигона (рис. 4б). Низкие показатели (менее $20 \text{ мг С}\cdot\text{м}^{-3}\cdot\text{сут}^{-1}$) наблюдались в центре, тогда как на большей части полигона они варьировали в диапазоне от 20 до $30 \text{ мг С}\cdot\text{м}^{-3}\cdot\text{сут}^{-1}$.

Распределение концентрации хлорофилла *a* в ЭФЗ, так же как и на поверхности, было ниже в центральной части полигона и выше в западной и восточной его частях (рис. 4в). Более чем на половине исследованной акватории значения концентрации пигмента находились в пределах $20\text{--}25 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-2}$. Минимальные значения ($10\text{--}20 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-2}$) зафиксированы на участке полигона вблизи поселка Новый Свет, наиболее высокие — в западной части, где концентрация пигмента достигала $46 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-2}$. Значения интегральной первичной продукции в ЭФЗ варьировали в диапазоне $200\text{--}300 \text{ мг С}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$ более чем на половине полигона, превышали $300 \text{ мг С}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$ в западной части и опускались ниже $200 \text{ мг С}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$ на отдельных участках в центре (рис. 4г).

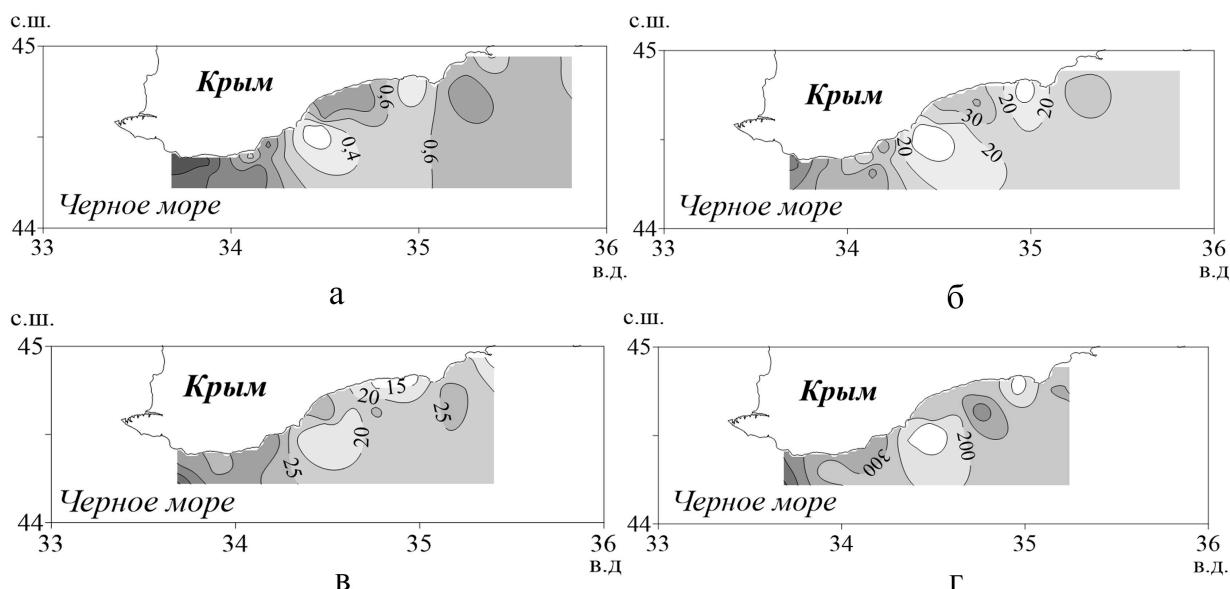


Рис. 4. Концентрация хлорофилла *a* (а) и первичная продукция (б) в поверхностном слое, интегральная концентрация хлорофилла (в) и первичная продукция (г) в эвфотической зоне Чёрного моря в марте — апреле 2023 г.

Вертикальные профили распределения хлорофилла *a* в слое 0–80 м представлены пятью основными типами (рис. 5). Наиболее распространённым был одномодальный профиль, выявленный на 26 % исследованных станций (рис. 5а). Бимодальный тип отмечен на 18 % станций (рис. 5б). Третий тип — профиль с относительно равномерным распределением пигмента до нижней границы ЭФЗ и резким снижением на глубине (рис. 5в) зафиксирован на 15 % станций. Четвёртый тип, характеризующийся относительно равномерным распределением хлорофилла по всему рассматриваемому слою, также выявлен на 15 % станций (рис. 5г). Наименее распространённый тип вертикального распределения хлорофилла *a* — профиль с постепенным снижением концентрации пигмента с глубиной (рис. 5д) выявлен на 11 % станций. На 15 % станций наблюдались профили распределения, не относящиеся ни к одному из указанных типов (рис. 5е).

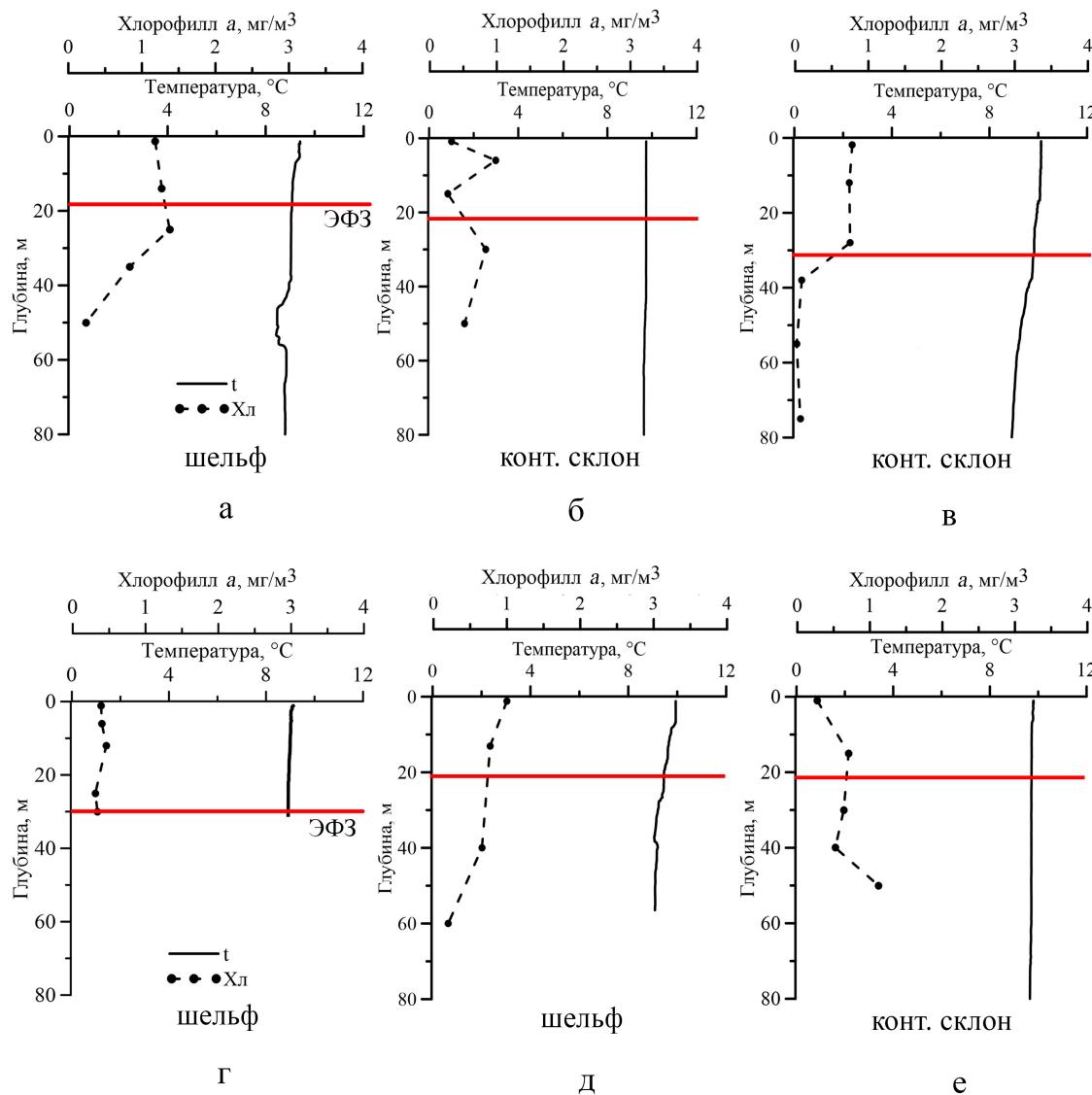


Рис. 5. Вертикальное распределение концентрации хлорофилла *a* в слое 0–80 м: одномодальный профиль (а), бимодальный (б), равномерное распределение в ЭФЗ (в), равномерное распределение во всём исследованном слое (г), постепенное снижение концентрации по глубине (д), профиль с максимумом у основания исследованного слоя (е)

Качественный и количественный состав фитопланктона и его биомасса. В начале весны 2023 г. биомасса фитопланктона в поверхностном слое на большей части исследованного участка акватории не превышала 20 мг С·м⁻³ (рис. 6а). Наиболее низкие значения (до 6 мг С·м⁻³) были отмечены в районе континентального склона, относительно высокие (более 30 мг С·м⁻³) наблюдались в западной части полигона, что может быть связано с более высокими показателями первичной продукции и повышенной концентрацией хлорофилла *a* в этом районе.

В марте — апреле 2023 г. вблизи крымского побережья Чёрного моря преобладали диатомовые водоросли. Их относительная биомасса составляла более 50 % почти на половине исследованной акватории и менее 30 % в центре полигона, где преобладали динофлагелляты (рис. 6б). Среди диатомовых водорослей доминировала крупноклеточная *Pseudosolenia calcar-avis* (Schultze) B.G. Sundström 1986. Её относительная биомасса в восточной и западной частях полигона составляла 25–50 % от общей (рис. 6в) и приблизительно половину от биомассы диатомовых. Несмотря

на высокую численность, вклад *Pseudo-nitzschia seriata* (Cleve) H. Peragallo 1899 и *Pseudo-nitzschia delicatissima* (Cleve) Heiden 1928 в относительную биомассу оставался низким. Почти на всём полигоне он не превышал 10 %, а в наиболее удалённом от берега районе составлял менее 2 %. Исключением явились локальные пики в западной части, где относительная биомасса рода *Pseudo-nitzschia* составляла 20 % (рис. 6). Численность этих двух видов не достигала уровня цветения и варьировала от 3,6 до 244 тыс. кл. \cdot л $^{-1}$, а в среднем была равна (65 ± 69) тыс. кл. \cdot л $^{-1}$.

Таким образом, по биомассе в марте — апреле 2023 г. на исследованном участке акватории преобладал вид *P. calcar-avis*, а виды *P. seriata* и *P. delicatissima* доминировали лишь по численности. Прочие виды диатомовых водорослей с высокими значениями численности и биомассы: *Thalassiosira parva* Proshkina-Lavrenko 1955, *Cerataulina pelagica* (Cleve) Hendey 1937, *Proboscia alata* (Brightwell) Sundström 1986, *Thalassiosira subsalina* Proshkina-Lavrenko 1955, *Chaetoceros curvisetus* Cleve 1889, *Cyclotella caspia* Grunow 1878, *Nitzschia tenuirostris* Manguin 1952. Среди динофлагеллят наиболее весомый вклад в численность и биомассу был у *Tripos fusus* (Ehrenberg) F. Gómez 2013, *Protoceratium reticulatum* (Claparède & Lachmann) Bütschli 1885, *Diplopsalis lenticula* Bergh 1882, различных видов родов *Prorocentrum* и *Gymnodinium*.

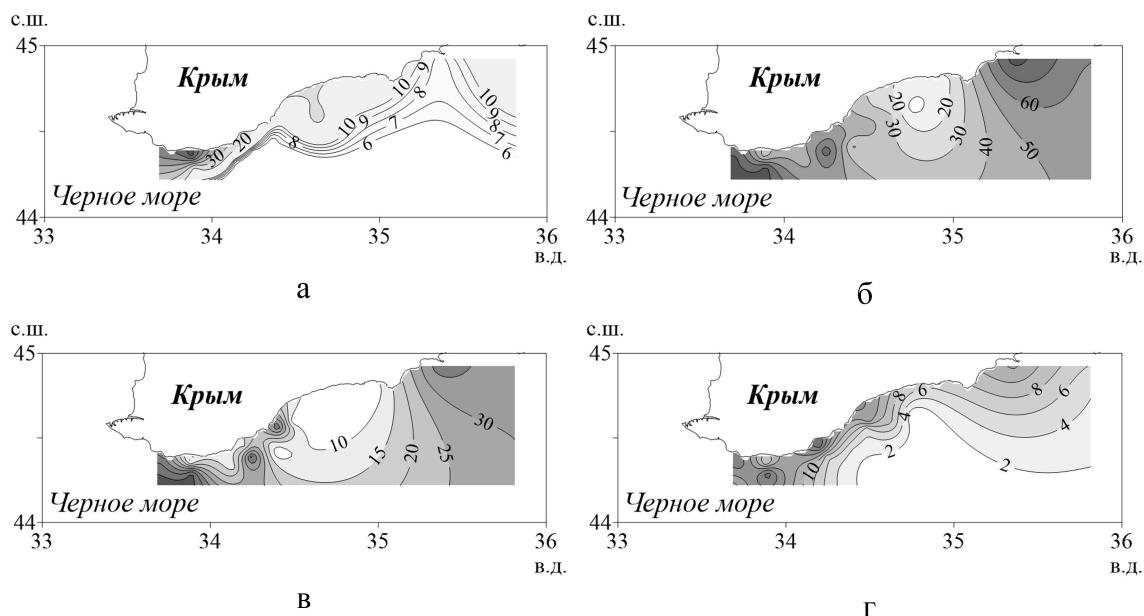


Рис. 6. Суммарная биомасса фитопланктона, мгС/м³ (а), относительная доля диатомовых водорослей, % (б), относительная доля *P. calcar-avis*, % (в) и рода *Pseudo-nitzschia*, % (г) в поверхностном слое Чёрного моря в марте — апреле 2023 г.

Таким образом, на большей части исследованной акватории, особенно в районе континентального склона, в марте — апреле 2023 г. наблюдалось слабое развитие планктонных водорослей, о чём свидетельствует их невысокая биомасса. Одной из причин этого могло быть лимитирование по нитратам и фосфатам. Другой причиной могло послужить пребывание в этот период значительной части фитопланктона за пределами освещённой зоны, судя по концентрации хлорофилла *a*.

Обсуждение

В связи с повышением температуры происходит ослабление динамики водных масс, что снижает поступление питательных веществ в зону фотосинтеза [Mikaelyan et al., 2018]. Механизмы данного процесса в глубоководных и прибрежных районах различны. В глубоководной части биогенные вещества поступают в основном за счёт подъёма вод с нижних горизонтов, в то время как в прибрежных районах основное влияние оказывает береговой сток [Финенко и др., 2021]. В исследованной нами прибрежной акватории отмечалось относительно низкое содержание нитратов и фосфатов, о чём свидетельствуют высокие отношения N : P и Si : N на данном участке. В поверхностном слое эти значения в среднем составляли 33 и 3 соответственно, а в зоне фотосинтеза — 31 и 4. Данные значения в 2–4 раза превышали соотношения Редфилда [Turner et al., 2003], а значит, концентрации азота и фосфора в морской воде в исследуемый период лимитировали развитие фитопланктона.

Результатом этого лимитирования в марте — апреле 2023 г. стали низкие значения концентрации хлорофилла *a* и величины первичной продукции в изученных нами водах. Исследования, проведённые в весенний период 1989 г., продемонстрировали сходные значения в прибрежных районах Чёрного моря [Финенко, Крупаткина, 1993].

Вертикальное распределение хлорофилла *a* в исследуемый период отличалось разнообразием типов профилей, среди которых наиболее часто встречался одномодальный. В рассматриваемый период в среднем более 30 % общего содержания хлорофилла находилось за пределами зоны фотосинтеза. Это связано с тем, что исследования проводились в период отсутствия стратификации вод, то есть фитопланктон мог свободно распределяться по глубине, что было особенно характерно для района континентального склона. В то же время средняя глубина зоны фотосинтеза в это время года составляла 23 м, что обусловило факт пребывания около трети фитопланктона в неосвещённой зоне. Высокие показатели средней температуры поверхностных вод (около 10 °C) свидетельствует о тёплой зиме 2022–2023 гг., что могло быть одной из причин широкого ВКС в этот период.

В прибрежных водах Чёрного моря с 1960-х по начало 2000-х годов в годовом развитии биомассы фитопланктона наблюдалось три пика: первый приходился на конец зимы — начало весны, второй — на конец мая или начало июня и третий — на сентябрь — октябрь. Первый пик преимущественно формировался мелкой диатомовой водорослью *S. costatum* [Стельмак, 2024]. В исследованиях конца 1980-х — начала 1990-х годов [Микаэлян, Нестерова, Георгиева, 1992; Финенко, Крупаткина, 1993], когда наблюдалась усиленная эвтрофикация вод Чёрного моря, отмечено цветение видов рода *Pseudo-nitzschia*, таких как *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima* (Hasle) Hasle 1993, *Pseudo-nitzschia seriata* (Cleve) H.Peragallo 1899 и *Pseudo-nitzschia delicatissima* (Cleve) Heiden 1928. В марте — апреле 2023 г. даже в районе континентального склона цветение видов *P. seriata* и *P. delicatissima* нами не обнаружено, однако отмечена их высокая численность относительно других видов. В исследованный период по биомассе доминировали диатомовые водоросли — более 40–50 % в восточной и западной частях акватории. Примерно половину их биомассы составлял вид *P. calcar-avis*, который, по-видимому, и определял доминирующее положение диатомей. В работах 2016–2019 гг. отмечалось преобладание как крупных видов диатомовых и динофитовых водорослей, так и мелкой кокколитофориды *Emiliania huxleyi* (Lohmann) W.W. Hay & H.P. Mohler в весенний период после тёплых зим [Финенко и др., 2021]. Среди доминирующих видов также упоминалась *P. calcar-avis*, но её вклад был почти в два раза ниже, чем у динофлагеллят. Таким образом, можно предположить, что в Чёрном море происходит постепенная перестройка структуры фитопланктона, прослеживаемая в ходе наблюдений за период чуть менее 10 лет.

Преобладание крупноклеточных видов планктонных водорослей, в частности *P. calcar-avis*, может объясняться, во-первых, их низкой пригодностью в качестве пищи для большинства видов микрозоопланктона [Wirtz, 2012] не только из-за размеров, но и из-за сниженного соотношения углерода к объёму клетки, что делает их низкокачественным кормом [McBeain, Halsey, 2018]. Во-вторых, возможное доминирование крупноклеточного вида *P. calcar-avis* в составе фитопланктона может быть обусловлено механизмом, позволяющим данному виду длительно функционировать в условиях дефицита биогенных веществ, — способностью накапливать их в крупной внутриклеточной вакуоли [Silkin et al., 2021].

Таким образом, в начале весеннего периода 2023 г. в Чёрном море у берегов Крыма ни один вид планктонных микроводорослей не достигал уровня цветения. Причинами этого, по-видимому, являлось лимитирование развития нитратами и фосфатами, а также нахождение значительной части фитопланктона за пределами зоны фотосинтеза. В общей биомассе, как правило, доминировали крупные диатомовые водоросли и изредка крупные динофлагелляты, а концентрация хлорофилла *a* и первичная продукция были сравнительно невысокими.

Заключение

Исследования, проведённые в районе шельфа и континентального склона Чёрного моря за последние несколько лет, в том числе и настоящая работа, выявили изменения структурных и функциональных характеристик фитопланктона. Отмечается снижение концентрации хлорофилла *a*, первичной продукции и биомассы фитопланктона, а также уменьшение вклада в общую биомассу мелкоклеточных видов водорослей, прежде всего диатомовых. Вместо них всё чаще преобладают крупные виды диатомовых водорослей. Это обусловлено, вероятно, их способностью создавать значительный внутриклеточный запас биогенных веществ, а также слабым выеданием микрозоопланкtonом.

Благодарность. Проведённые исследования были осуществлены на базе Центра коллективного пользования «Научно-исследовательское судно «Профессор Водяницкий»» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН». Авторы выражают благодарность Д. С. Борисовой за помощь при определении концентрации биогенных веществ.

Список литературы

1. Ковалева И. В., Финенко З. З., Суслин В. В. Тренды изменения первичной продукции фитопланктона по данным дистанционного зондирования в глубоководной области Чёрного моря в 1998–2015 годы // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. – 2022. – Т. 15, № 4. – С. 42–53. – <https://doi.org/10.48612/fpg/dfbm-t6da-5rvb>
2. Ковалева И. В., Финенко З. З., Суслин В. В. Тренды многолетних изменений концентрации хлорофилла, первичной продукции фитопланктона и температуры воды на шельфе в южном и восточном районах Чёрного моря // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2021. – Т. 18, № 4. – С. 228–235. – <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-4-228-235>
3. Ковалева И. В., Финенко З. З., Суслин В. В. Тренды многолетних изменений первичной продукции фитопланктона совместно с концентрацией хлорофилла и температурой воды в шельфовых районах северо-западной части Чёрного моря // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2022. – Т. 19, № 4. – С. 239–248. – <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2022-19-4-239-248>

4. Кубряков А. А., Белокопытов В. Н., Зацепин А. Г., Станичный С. В., Пиотух В. Б. Изменчивость толщины перемешанного слоя в Чёрном море и ее связь с динамикой вод и атмосферным воздействием // Морской гидрофизический журнал. – 2019. – Т. 35, № 5. – С. 449–468. – <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2019-5-449-468>
5. Маньковский В. И., Маньковская Е. В., Соловьев М. В. Гидрооптические характеристики Чёрного моря : справочник. – Севастополь : ЭКОСИ – Гидрофизика, 2009. – 92 с.
6. Микаэлян А. С., Нестерова Д. А., Георгиева Л. В. Зимнее «цветение» *Nitzschia delicatula* в открытых водах Чёрного моря // Зимнее состояние экосистемы открытой части Чёрного моря: (по материалам 21-го рейса НИС «Витязь», 9 февр. – 8 апр. 1991 г.) / Рос. акад. наук, Ин-т океанологии им. П. П. Ширшова ; отв. ред. М. Е. Виноградов. – Москва : ИО РАН, 1992. – С. 58–72.
7. Совга Е. Е., Мезенцева И. В., Хмара Т. В., Слепчук К. А. О перспективах и возможностях оценки самоочистительной способности акватории Севастопольской бухты // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2014. – Вып. 28. – С. 153–164. – <https://elibrary.ru/vbfstf>
8. Стельмах Л. В. Закономерности роста фитопланктона и его потребления микрозоопланктоном в Чёрном море. – Симферополь : АРИАЛ, 2024. – 194 с.
9. Финенко З. З., Крупяткина Д. К. Первичная продукция и размерная структура фитопланктона в зимне-весенний период // Планктон Чёрного моря / АН УССР, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского. – Киев : Наук. думка, 1993. – С. 74–92.
10. Финенко З. З., Мансурова И. М., Ковалёва И. В., Георгиева Е. Ю. Развитие фитопланктона в зимне-весенний период в прибрежных водах Крыма // Морской биологический журнал. – 2021. – Т. 6, № 1. – С. 102–114. – <https://doi.org/10.21072/mbj.2021.06.1.08>
11. Финенко З. З., Суслин В. В., Чурилова Т. Я. Региональная модель для расчёта первичной продукции Чёрного моря с использованием данных спутникового сканера цвета SeaWiFS // Морской экологический журнал. – 2009. – Т. 8, № 1. – С. 81–106. – <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/1002>
12. Finenko Z. Z., Kovalyova I. V., Suslin V. V. Use of satellite data for the estimation of the specific growth rate of phytoplankton in the surface layer of the Black Sea // Russian Journal of Marine Biology. – 2019. – Vol. 45, no. 4. – P. 313–319. – <https://doi.org/10.1134/S1063074019040059>
13. Guiry M. D., Guiry G. M. AlgaeBase. Worldwide electronic publication / Nat. Univ. of Ireland. – Galway. – URL: <http://www.algaebase.org> (accessed: 10.06.2025).
14. Häder D.-P., Gao K. Interactions of anthropogenic stress factors on marine phytoplankton // Frontiers in Environmental Science. – 2015. – Vol. 3. – Art. 14. – <https://doi.org/10.3389/fenvs.2015.00014>
15. Identifying marine diatoms and dinoflagellate / ed. by C. R. Tomas. – San-Diego : Academic Press, 1996. – 598 p. – <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-693015-3.X5000-1>
16. Intergovernmental Oceanographic Commission. Protocols for the joint global ocean flux study (JGOFS) core measurements. – Paris : UNESCO-IOC, 1994. – 170 pp. – (Intergovernmental Oceanographic Commission manuals and guides ; 29) (JGOFS report ; 19). – <https://doi.org/10.25607/OBP-1409>
17. Kovalyova I. V., Suslin V. V. Integrated primary production in the deep-sea regions of the Black Sea in 1998–2015 // Physical Oceanography. – 2022. – Vol. 29, iss. 4. – P. 404–416. – <https://doi.org/10.22449/1573-160X-2022-4-404-416>
18. McBeain K. A., Halsey K. H. Altering phytoplankton growth rates changes their value as food for microzooplankton grazers // Aquatic Microbial Ecology. – 2018. – Vol. 82, iss. 1. – P. 19–29. – <https://doi.org/10.3354.ame01880>

19. Menden-Deuer S., Lessard E. J. Carbon to volume relationships for dinoflagellates, diatoms and other protist plankton // Limnology and Oceanography. – 2000. – Vol. 45, iss. 3. – P. 569–579. – <https://doi.org/10.4319/lo.2000.45.3.0569>
20. Methods of seawater analysis / eds: K. Grasshoff [et al.]. – 3d compl. rev. and extended ed. – Weinheim [et al.] : Wiley-VCH, 1999. – 632 p.
21. Mikaelyan A. S., Chasovnikov V. K., Kubryakov A. A., Stanichny S. V. Phenology and drivers of the winter–spring phytoplankton bloom in the open Black Sea: The application of Sverdrup’s hypothesis and its refinements // Progress in Oceanography. – 2017. – Vol. 151. – P. 163–176. – <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2016.12.006>
22. Mikaelyan A. S., Kubryakov A. A., Silkin V. A., Pautova L. A., Chasovnikov V. K. Regional climate and patterns of phytoplankton annual succession in the open waters of the Black Sea // Deep Sea Research. Pt. I: Oceanographic Research Papers. – 2018. – Vol. 142. – P. 44–57. – <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2018.08.001>
23. Montagnes D. J., Berges J. A., Harrison P. J., Taylor F. J. R. Estimating carbon, nitrogen, protein and chlorophyll *a* from volume in marine phytoplankton // Limnology and Oceanography. – 1994. – Vol. 39, iss. 5. – P. 1044–1060. – <https://doi.org/10.4319/lo.1994.39.5.1044>
24. Orekhova N. A., Varenik A. V. Current hydrochemical regime of the Sevastopol Bay // Physical Oceanography. – 2018. – Vol. 25, iss. 2. – P. 124–135. – <https://doi.org/10.22449/1573-160X-2018-2-124-135>
25. Silkin V., Fedorov A., Flynn K. J., Paramonov L., Pautova L. Protoplasmic streaming of chloroplasts enables rapid photoacclimation in large diatoms // Journal of Plankton Research. – 2021. – Vol. 43, iss. 6. – P. 831–845. – <https://doi.org/10.1093/plankt/fbab071>
26. Stelmakh L. V., Georgieva E. Yu. Microzooplankton: the trophic role and involvement in the phytoplankton loss and bloom-formation in the Black Sea // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. – 2014. – Vol 14, iss. 5. – P. 955–964. – https://doi.org/10.4194/1303-2712-v14_4_15
27. Stelmakh L., Kovrigina N. Phytoplankton growth rate and microzooplankton grazing under conditions of climatic changes and anthropogenic pollution in the coastal waters of the Black Sea (Sevastopol Region) // Water. – 2021. – Vol. 13, iss. 22. – Art. 3230. – <https://doi.org/10.3390/w13223230>
28. Stelmakh L., Kovrigina N., Gorbunova T. Phytoplankton adaptation strategies under the influence of climatic changes and anthropogenic pressure on the Black Sea coastal ecosystems on the example Sevastopol Bay // Ecologica Montenegrina. – 2020. – Vol. 37. – P. 34–42. – <https://doi.org/10.37828/em.2020.37.5>
29. Stelmakh L. V., Mansurova I. M., Farber A. A., Kovaleva I. V., Borisova D. S. Structural and functional parameters of the Black Sea phytoplankton during the summer bloom of the coccolithophore *Emiliania huxleyi* // Regional Studies in Marine Science. – 2024. – Vol. 76. – Art. 103594. – <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103594>
30. Turner R. E., Rabalais N. N., Justic' D., Dortch Q. Global patterns of dissolved N, P and Si in large rivers // Biogeochemistry. – 2003. – Vol. 64, nr 3. – P. 297–317. – <http://www.jstor.org/stable/1469745>
31. Wirtz K. W. Who is eating whom? Morphology and feeding type determine the size relation between planktonic predators and their ideal prey // Marine Ecology Progress Series. – 2012. – Vol. 445. – P. 1–12. – <https://doi.org/10.3354/meps09502>

**THE ASSESSMENT OF STRUCTURAL AND FUNCTIONAL CHARACTERISTICS
OF PHYTOPLANKTON OF THE BLACK SEA IN SPRING OF 2023**

Farber A. A., Stelmakh L. V., Kovaleva I. V., Babich I. I.

*A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,
e-mail: anastasiafarber@yandex.ru*

Abstract: The current state of marine phytoplankton near the Crimean Peninsula (the Black Sea) was assessed using data obtained during the 126th cruise of the R/V «Professor Vodyanitsky» in March — April 2023. This research was motivated by the impacts of climate change on marine ecosystems, a problem that has evoked a strong interest within the scientific community. The data on chlorophyll *a* concentration, primary production, biomass, and phytoplankton species composition in surface seawater were used. The concentration of chlorophyll *a* ranged from 0.6 to 1.5 mg/m³. Surface primary production varied between 1 and 72 mg C·m⁻³·d⁻¹, whereas the integrated primary production in the photosynthetic zone ranged from 200 to 300 mg C·m⁻²·d⁻¹. Surface biomass values were between 5 and 84 mg C/m³, rarely exceeding 30 mg C/m³. By biomass the dominant species was *Pseudosolenia calcar-avis*, whereas *Pseudo-nitzschia* spp. prevailed in abundance. None of the identified species reached bloom levels. Nitrogen and phosphorus were determined to limit the growth of phytoplankton during the observation period. A comparison with literature data allowed us to evaluate changes in the structural and functional characteristics of phytoplankton in the coastal waters of the Black Sea over recent years.

Keywords: phytoplankton, chlorophyll *a*, primary production, biomass, the Black Sea

Сведения об авторах

Фарбер Анастасия Антоновна	аспирант, младший научный сотрудник ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова 2, г. Севастополь, 299011, Российская Федерация, e-mail: anastasiafarber@yandex.ru
Стельмакх Людмила Васильевна	доктор биологических наук, главный научный сотрудник ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова 2, г. Севастополь, 299011, Российская Федерация, e-mail: lustelm@mail.ru
Ковалева Илона Васильевна	кандидат биологических наук, старший научный сотрудник ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова 2, г. Севастополь, 299011, Российская Федерация, e-mail: ila.82@mail.ru
Бабич Ирина Ивановна	ведущий инженер ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова 2, г. Севастополь, 299011, Российская Федерация, e-mail: irina.babich1955@mail.ru

*Поступила в редакцию 27.06.2025
Принята к публикации 11.11.2025*

**СТРУКТУРА ПРИРОДНОГО КОМПЛЕКСА
ПИЦУНДСКОСОСНОВО-ВЫСОКОМОЖЖЕВЕЛОВЫХ ЛЕСОВ
И СОПУТСТВУЮЩИХ ИМ БИОТОПОВ КРЫМСКОГО
СУБСРЕДИЗЕМНОМОРЬЯ**

Рыфф Л. Э.

*ФГБУН «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад –
Национальный научный центр РАН», г. Ялта, Российская Федерация,
e-mail: lyubov.ryff@yandex.ru*

Аннотация: Данна биотопическая, фитоценотическая и флористическая характеристика природного комплекса пицундскоосново-высокоможжевеловых лесов и сопутствующих им биотопов Горного Крыма. В составе комплекса выявлены сообщества 14 классов растительности и 26 биотопов, относящихся к пяти типам высшего иерархического уровня EUNIS habitat classification. Флора включает 647 видов из 310 родов 69 семейств сосудистых растений. Выделено пять подкомплексов: 1 — массивы плотных бескарбонатных пород; 2 — эрозионные ландшафты на среднеюрских тяжёлых глинах; 3 — известняковые массивы Юго-Восточного Крыма; 4 — известняковые массивы Юго-Западного Крыма; 5 — эрозионные ландшафты на флише таврической серии и средней юры. Для каждого подкомплекса приведены картосхема распространения в Крыму, перечни местообитаний, классов растительности, специфические и дифференцирующие виды флоры, оценено флористическое богатство. Установлено, что наибольшим биотопическим и фитоценотическим разнообразием и флористическим богатством характеризуется подкомплекс известняковых массивов Юго-Западного Крыма, а самым своеобразным по составу и структуре компонентов является подкомплекс эрозионных ландшафтов на тяжёлых глинах.

Ключевые слова: природный комплекс, сосново-можжевеловые леса, биотопы, EUNIS habitat classification, *Pinus brutia* Ten., *Juniperus excelsa* M.Bieb., Крым

Введение

В качестве основного типа лесной растительности Южного берега Крыма (ЮБК) часто приводятся дубово-можжевеловые или можжевелово-дубовые леса [Малеев, 1948; Рубцов, 1978]. Однако в фитоценотическом аспекте такое определение не вполне правомерно, так как пущистодубовые и высокоможжевеловые сообщества различаются по своему генезису и общему ареалу, приурочены к разным экотопам и характеризуются разным экологическим оптимумом. Смешанные широколиственно-хвойные, и в частности дубово-можжевеловые, фитоценозы, как правило, индицируют пространственный экотон либо определённую стадию сукцессии; при этом между *Quercus pubescens* Willd. и *Juniperus excelsa* M.Bieb., а также между группами сопряжённых с ними видов, существуют конкурентные взаимоотношения [Васильев, 1931; Малеев, 1933; Малеев, 1948; Станков, 1933; Шведчикова, 1983; Рыфф, 2021].

В то же время леса и редколесья из *Pinus brutia* Ten. var. *pityusa* (Gordon et Glend.) Silba и *Juniperus excelsa* в Южном Крыму образуют стабильный в пространственно-временном отношении комплекс, устойчивость которого обусловлена общностью ботанико-географического происхождения, характера распространения, экологической приуроченности этих древесных пород и формируемых ими сообществ. *Pinus brutia* — вид восточносредиземноморского распространения, имеющий эксклавы в Переднеазиатском регионе, его ареал на большей части пересекается с областью распространения *J. excelsa*. Во многом близки эти виды и экологически, обычно они

занимают сухие открытые каменистые склоны. При этом *P. brutia* тяготеет к самому нижнему, приморскому поясу, часто образуя там монодоминантные леса, а основные массивы можжевеловых сообществ формируются немного выше и дальше от морского побережья. Для промежуточной зоны характерны стабильные смешанные редколесья. По мнению Я. П. Диудха (1992), замещение сосны можжевельником происходит по мере уменьшения влажности. Несомненно, определяющую роль играет и характер биотопов. Доказано, в частности, что лимитирующими факторами для пицундской сосны являются низкий уровень влагонакопления и невысокое количество гумуса в почве, наблюдаемые на более крутых и удалённых от моря склонах [Коба, Макаров, 2024]. Можжевельник высокий более устойчив к таким неблагоприятным условиям, как бедность субстрата и сухость экотопа, что позволяет ему успешно закрепляться на участках, непригодных для произрастания других древесных пород [Плугатар, Яриш, 2010]. Однако очевидно, что сосна пицундская и можжевельник высокий имеют во многом сходные требования к условиям среды, успешно сосуществуют и образуют единый природный комплекс сосново-можжевеловых лесов вместе с сопутствующими им нелесными биотопами.

Представления о ботанико-географическом и фитоценотическом единстве сообществ *Pinus brutia* и *Juniperus excelsa* и их отличии от широколистенных, в частности дубовых, лесов находят всё больше сторонников [Шведчикова, 1983; Диудх, Вакаренко, Шеляг-Сосонко, 1986; Рыфф, 2021]. И если раньше эти фитоценозы рассматривались в составе класса *Quercetea pubescens* Doing-Kraft ex Scamoni et Passarge 1959, а в Средиземноморье отчасти и в составе *Quercetea ilicis* Br.-Bl. ex A. Bolds et O. de Boldis in A. Bolds y Vayreda 1950 [Диудх, Вакаренко, Шеляг-Сосонко, 1986; Корженевский и др., 2003; Ketenoglu et al., 2010; Matevski et al., 2010; Mucina et al., 2016], то впоследствии их стали относить к особому классу горных сосново-можжевеловых сообществ *Juniper-Pinetea sylvestris* Rivas-Mart. 1965 [Mucina et al., 2016; Ермаков, 2020; Kavgaci et al., 2021]. Недавно выдвинута новая концепция отдельного класса растительности — *Pinetea halepensis* Bonari et M. Chytrý 2021 для описания сосновых лесов приморского пояса Средиземноморья и Причерноморья [Bonari et al., 2021]. Союз *Jasmino fruticantis-Juniperion excelsae* Didukh, Vakarenko et Shelyag-Sosonko ex Bonari et al. 2021, который обобщает пицундско-сосново-высокоможжевеловые леса и редколесья Крыма, также был включён в этот класс. Сюда же отнесён союз *Campanulo sibiricae-Pinion brutiae* Litvinskaya et Postarnak ex Mucina in Mucina et al. 2016, характеризующий фитоценозы пицундской сосны на Черноморском побережье Кавказа, тогда как можжевеловые редколесья этого региона по-прежнему рассматриваются в рамках *Quercetea pubescens* [Белоновская, Морозова, 2021]. Такие синтаксономические решения нуждаются в более детальном обосновании, уточнении и доработке, но в целом, очевидно, отражают существующие природные закономерности. Сосново-можжевеловые сообщества Северного Причерноморья обладают существенной флористической спецификой по сравнению с аналогичными синтаксонами Средиземноморья [Bonari et al., 2021]. Между самими крымскими и кавказскими сообществами сосны пицундской также наблюдаются заметные отличия во флористическом составе [Малеев, 1927; Малеев, 1948]. Несмотря на это, имеется и хорошо выраженное общее флористическое ядро. Биогеографическое единство указанного типа растительности косвенно подтверждается ареалогическим анализом входящих в его состав характерных компонентов травяного яруса, что было показано нами на примере редкого вида — *Alyssum smyrnaeum* C.A.Mey., который тесно связан с сообществами *Pinus brutia* практически по всей области распространения [Плыинска et al., 2021]. Доказано также существование как в Крыму, так и в Средиземноморье специфического микокомплекса, приуроченного к сообществам сосны брутийской [Саркина, Рыфф, 2022]. К вышеуказанному природному комплексу в большей или меньшей степени тяготеет и целый ряд других таксонов, синтаксонов и биотопов. Установить, из каких именно компонентов формируется данный комплекс и в каких пространственно-географических

и экологических вариантах он представлен в Крыму, важно для теоретического понимания принципов организации растительного покрова, а также для более точного определения положения Крымского полуострова в системе глобального ботанико-географического районирования. С учётом высокой созологической значимости пицундкососново-высокоможжевеловых лесов, которые сложены охраняемыми в Крыму видами [Красная книга … , 2015; Красная книга … , 2018] и рассматриваются как реликтовые и нуждающиеся в особом внимании и специальных мерах охраны [Плугатар, Яриш, 2010; Плугатарь, 2015], эта проблема актуальна и для разработки и внедрения национальной природоохранной стратегии [Рыфф, 2022].

Цель данного исследования — установить структуру природного комплекса пицундкососново-высокоможжевеловых лесов и сопутствующих им нелесных биотопов Крымского Субсредиземноморья и выявить флористические, синтаксономические и биотические особенности входящих в его состав подкомплексов.

Материал и методы

Объектом исследования был природный комплекс пицундкососново-высокоможжевеловых лесов и связанных с ними нелесных биотопов Южного Крыма, и в первую очередь его ботаническая составляющая. Под природным комплексом в данном случае следует понимать совокупность генетически связанных биотопов, приуроченных к ограниченной территории и выходам определённых горных пород, в пределах которой проходит цикл сукцессионных смен растительных сообществ либо наблюдается динамическое равновесие их системы.

Природный комплекс пицундкососново-высокоможжевеловых лесов и сопутствующих им нелесных биотопов Крымского Субсредиземноморья включает чистые сообщества сосны пицундской, чистые сообщества можжевельника высокого и смешанные сосново-можжевеловые редколесья [Шведчикова, 1983; Рыфф, 2021], а также пространственно прилегающие к ним и связанные с ними единством абиотических и биотических процессов участки, занятые другими типами древесно-кустарниковой и травянистой растительности, каменистые и приморские местообитания.

Анализируемый природный комплекс располагается в южной части Горного Крыма от Карадага на востоке до окрестностей Севастополя на западе, на склонах Главной гряды Крымских гор, в нижнем и среднем высотных поясах от уровня моря и, как правило, до высоты 400–700 м (рис. 1). Общая площадь высокоможжевеловых сообществ около 3,3 тыс. га, пицундкососновых — 662 га [Плугатарь, 2015].

В работе применён методический подход, который включает сравнительный анализ природных комплексов разного уровня в биотическом, фитоценотическом и флористическом аспектах. Ранее он был апробирован при изучении стационарных мониторинговых участков известняковых ландшафтов Гурзуфского амфитеатра и ЮБК в целом [Рыфф, Природный комплекс известняковых … , 2024; Рыфф, Флора … , 2024]. При анализе природного комплекса использованы результаты многолетних (1995–2024 гг.) исследований, а также критически пересмотренные опубликованные материалы автора и другие литературные сведения [Рыфф, Волокитин, 2007; Дідух, Кузьманенко, 2008; Шатко, Миронова, 2008; Василенко, Кузьманенко, 2009; Крайнюк, 2012; Крайнюк, Голубева, 2014; Рыфф, Биотопическая … , 2017; Рыфф, Редкие … , 2017; Рыфф, Крайнюк, 2017; Крайнюк, Рыфф, 2019; Крайнюк, Рыфф, 2022]. Полевые работы проводились по традиционной методике [Голубев, Корженевский, 1985], включающей выполнение геоботанических описаний, составление флористических списков, а также сбор гербарных образцов и фотографирование изучаемых объектов. При выделении подкомплексов использовались данные по рельефу, геологии и характеристике почвообразующих пород Горного

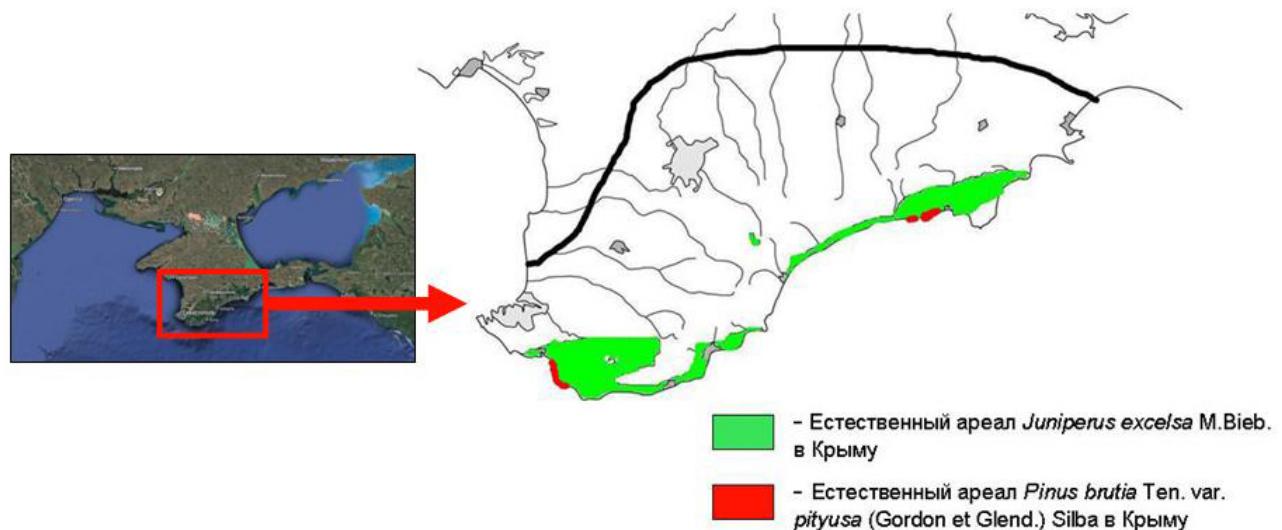


Рис. 1. Картосхема размещения природного комплекса пицундкососново-высокоможжевеловых лесов и сопутствующих биотопов в Крыму

Крыма [Кочкин, 1967; Муратов, 1973; Юдин, 2011]. Выявление биотопов проводилось на основании их диагноза и комбинации характерных видов по данным экспертной системы [Chytrý et al., 2020; Chytrý et al., 2024]. Кодировка и наименование биотопов соответствуют EUNIS habitat classification [EUNIS habitat type ...]. Объём классов растительности и их номенклатура приняты согласно актуальной концепции растительности Европы [Mucina et al., 2016; Bonari et al., 2021]. При составлении флористических списков и геоботанических описаний учитывались только спонтанно произрастающие высшие сосудистые растения. Их идентификация осуществлялась по классическим сводкам [Определитель высших ..., 1972; Определитель высших ..., 1987]. Номенклатура и объём таксонов соответствуют международным базам данных [Euro+Med PlantBase, 2006+; IPNI; POWO, 2017], также учитывались современные представления о составе флоры Крыма [Ена, 2012]. Под специфическими видами того или иного подкомплекса понимались таксоны, отмеченные в рамках данного исследования только в пределах указанного подкомплекса. Дифференцирующими видами считались таксоны, присутствующие в некоторых из анализируемых подкомплексов и, как правило, приуроченные к определённому типу горных пород (карбонатных или бескарбонатных), природно-климатической зоне либо отражающие степень антропогенного влияния. Специфическими для подкомплексов синтаксонами и биотопами также считались те, которые были выявлены только в данном природном подкомплексе. Для анализа структуры флоры применялись классические методы сравнительной флористики [Толмачев, 1986; Хохряков, 2000].

Результаты и обсуждение

В ландшафтной структуре природного комплекса пицундкососново-высокоможжевеловых лесов и сопутствующих им нелесных биотопов Крымского Субсредиземноморья выявлено 26 генетически связанных биотопов, относящихся к пяти типам высшего иерархического уровня EUNIS habitat classification [EUNIS habitat type ...]: N (Coastal habitats — приморские местообитания), R (Grasslands and lands dominated by forbs, mosses or lichens — территории, занятые травянистыми сообществами с участием мхов и лишайников), S (Heathland, scrub and tundra — участки, занятые кустарником, вересковые пустоши и тундра), T (Forest and other wooded land — леса

и другие участки с древесной растительностью), U (Inland habitats with no or little soil and mostly with sparse vegetation — биотопы суши без или со слаборазвитым почвенным покровом и разреженной растительностью). Ниже приведён перечень этих местообитаний:

N1212 (Pontic sand beach annual communities — сообщества с доминированием однолетников на песчаных пляжах Понтического региона);

N1213 (Pontic sand beach perennial communities — сообщества с доминированием многолетников на песчаных пляжах Понтического региона);

N221 (Gravel beach communities of the Mediterranean region — гравийно-галечниковые пляжи Средиземноморского региона);

N322 (Mediterraneo-Pontic sea-cliffs and rocky shores — береговые обрывы и скалистые берега Средиземноморско-Понтического региона);

N32424 (Eastern Pontic sea-cliff communities — восточно-понтические сообщества берегового клифа);

N35 (Mediterranean and Black Sea soft sea cliff — береговой клиф из податливых пород на побережье Средиземного и Черного морей);

R122 (Sparsely vegetated weathered rock and outcrop habitats — выветренные скалы и каменистые обнажения с разреженной растительностью);

R13 (Cryptogam- and annual-dominated vegetation on calcareous and ultramafic rock outcrops — растительность известковых и ультраосновных пород с доминированием криптогамных и однолетних видов);

R1B (Continental dry grassland (true steppe) — континентальная сухая травянистая растительность (настоящие степи));

R1D3 (East Mediterranean xeric grassland — ксерофитные травянистые сообщества Восточного Средиземноморья);

S3576 (Mediterraneo-Euxinian deciduous thickets — средиземноморско-эвксинскиешибляковые заросли листопадных кустарников);

S51331 (*Juniperus excelsa* arborescent matorral — редколесья из *Juniperus excelsa*);

S5144 (Aegean pine arborescent matorral — редколесья из *Pinus brutia*);

S516 (Deciduous *Quercus* matorral — редколесья из листопадных дубов);

S51B3 (Eastern Mediterranean high maquis — восточно-средиземноморский высокий маквис);

S52 (Submediterranean pseudomaquis — субсредиземноморский псевдомаквис);

S63F (Eastern *Helianthemum* and *Fumana* garrigues — гаррига с доминированием *Helianthemum* и *Fumana* в Восточном Средиземноморье);

S63V (Crimean garrigues — крымская гаррига);

S66 (Mediterranean halo-nitrophilous scrub — средиземноморские гало-нитрофильные кустарниковые сообщества);

S75 (Eastern Mediterranean mountain hedgehog-heath — горные фриганоидные сообщества с доминированием колючих кустарников в Восточном Средиземноморье);

T3A5 (*Pinus brutia* forests — леса из *Pinus brutia*);

T3D7 (Greek *Juniper excelsa* forests — леса из *Juniperus excelsa*);

U24 (Mediterranean siliceous screes — осьпи из коллювия силикатных пород в Средиземноморье);

U2A (Crimean base-rich screes — осьпи из коллювия основных пород в Крыму);

U34 (Mediterranean siliceous inland cliff — удалённые от моря скалы из силикатных пород в Средиземноморье);

U38 (Mediterranean base-rich inland cliff — удалённые от моря скалы из основных пород в Средиземноморье).

Растительность анализируемого природного комплекса относится к 14 классам системы Ж. Браун-Бланке в её современной интерпретации [Mucina et al., 2016; Bonari et al., 2021]: *Cakiletea maritimae* Tx. et Preising in Tx. ex Br.-Bl. et Tx. 1952, *Crithmo-Staticetea* Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1952, *Sedo-Scleranthetea* Br.-Bl. 1955, *Festuco-Brometea* Br.-Bl. et Tx. ex Soó 1947, *Festuco-Puccinellietea* Soó ex Vicherek 1973, *Stipo-Trachynietea distachyae* S. Brullo in S. Brullo et al. 2001, *Helianthemetea guttati* Rivas Goday et Rivas-Mart. 1963, *Ononido-Rosmarinetea* Br.-Bl. in A. Bolòs y Vayreda 1950, *Crataego-Prunetea* Tx. 1962 nom. conserv. propos., *Pinetea halepensis* Bonari et Chytrý in Bonari et al. 2021, *Quercetea pubescentis* Doing-Kraft ex Scamoni et Passarge 1959, *Quercetea ilicis* Br.-Bl. ex A. Bolòs et O. de Bolòs in A. Bolòs y Vayreda 1950, *Asplenietea trichomanis* (Br.-Bl. in Meier et Br.-Bl. 1934) Oberd. 1977, *Drypidetea spinosae* Quézel 1964.

Флора природного комплекса пицундскоосново-высокоможжевеловых лесов и сопутствующих им нелесных биотопов представлена 647 видами из 310 родов 69 семейств сосудистых растений.

В изученном природном комплексе на основании различий типа коренной горной породы, композиций биотопов и растительных сообществ выделено пять подкомплексов: 1 — массивы плотных бескарбонатных пород; 2 — эрозионные ландшафты на среднеюрских тяжёлых глинах; 3 — известняковые массивы Юго-Восточного Крыма; 4 — известняковые массивы Юго-Западного Крыма; 5 — эрозионные ландшафты на флише таврической серии и средней юры [Рыфф, Природный комплекс сосново- ... , 2024].

В каждом подкомплексе выявлен состав биотопов и соответствующих им классов растительности. Проанализировано распределение видового состава флоры по подкомплексам, типам местообитаний и классам растительности. Установлено, что изученный природный комплекс во флористическом отношении представляет собой единое целое, так как в нём формируется крупное общее ядро флоры. В то же время каждый подкомплекс, большинство биотопов и синтаксонов характеризуются наличием больших или меньших по объёму групп специфических видов, часто стенотопных, а также дифференцирующих таксонов, которые вместе можно рассматривать как флористический диагностический блок подкомплекса.

Подкомплекс № 1 (ПК 1)

Включает массивы плотных бескарбонатных среднеюрских и верхнеюрских пород: магматических (интрузивных и эфузивных), пирокластических, песчаников, конгломератов.

Основные районы расположения: горные массивы Кара-Даг, Папая-Кая, Аю-Даг, окрестности Нового Света, Весёлого, Фороса, Резервного и Балаклавы (рис. 2).

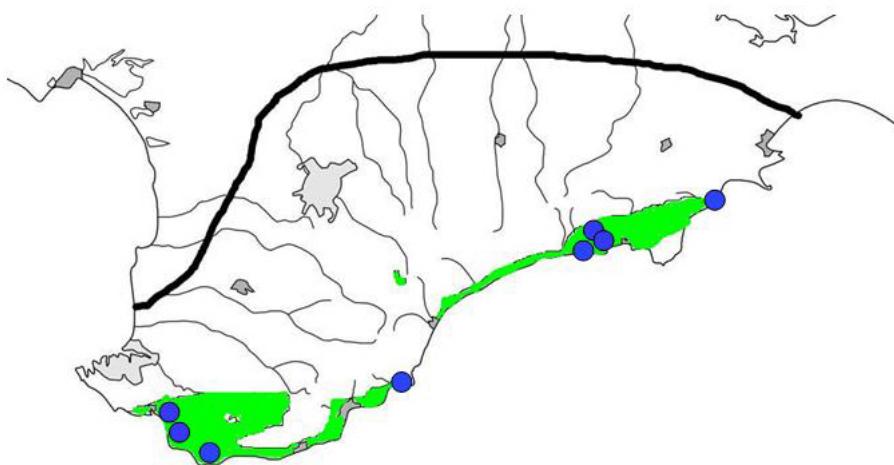
Данный подкомплекс включает следующие биотопы (звёздочкой * здесь и далее отмечены местообитания, специфические для данного подкомплекса): N221, N322, R122*, R1B, R1D3, S3576, S51331, S5144, S516, S75*, U24, U34*.

Для него характерны растительные сообщества таких классов, как *Cakiletea maritimae*, *Crithmo-Staticetea*, *Pinetea halepensis*, *Quercetea pubescentis*, *Crataego-Prunetea*, *Festuco-Brometea*, *Sedo-Scleranthetea*, *Helianthemetea guttati*, *Stipo-Trachynietea distachyae*, *Asplenietea trichomanis*, *Drypidetea spinosae*.

Флористическое богатство оценивается в 341 вид из 191 рода 52 семейств сосудистых растений.

Специфические виды флоры: *Aegilops peregrina* (Hack.) Maire et Weiller, *Astragalus arnacantha* M.Bieb., *Astragalus sinaicus* Boiss., *Buglossoides incrassata* (Guss.) I.M.Johnst. subsp. *incrassata*, *Campanula erinus* L., *Cerastium schmalhausenii* Pacz., *Chaenorhinum minus* (L.) Lange, *Hemionitis marantae* (L.) Christenh., *Rumex acetosella* L., *Verbascum banaticum* Schrad.

Дифференцирующие виды флоры: *Pinus brutia* var. *pityusa*, *Alyssum smyrnaeum*, *Euphorbia ledebourii* Boiss., *Filago arvensis* L., *Helianthemum ledifolium* (L.) Mill. subsp. *lasiocarpum* (Desf. ex Jacques et Hérincq) Nyman, *Hippocratea ciliata* Willd., *Lathyrus saxatilis* (Vent.) Vis., *Lathyrus setifolius* L., *Minuartia montana* L. subsp. *wiesneri* (Stapf) McNeill, *Myosotis refracta* Boiss., *Pterocephalus plumosus* (L.) F.Dietr., *Scleranthus annuus* L. subsp. *collinus* (Hornung ex Opiz) Schübl. et G.Martens, *Sedum aetnense* Tineo, *Sedum cespitosum* (Cav.) DC., *Sedum rubens* L., *Sedum urvillei* DC., *Silene supina* M. Bieb., *Stachys angustifolia* M.Bieb., *Taeniatherum caput-medusae* (L.) Nevski, *Theligonum cynocrambe* L., *Trifolium arvense* L., *Trifolium hirtum* All., *Valeriana echinata* L., *Vicia ervilia* (L.) Willd., *Vicia hirsuta* (L.) Gray.



А



Б



В



Г

Рис. 2. Картосхема расположения подкомплекса № 1 — массивов плотных бескарбонатных пород (А) и некоторые биотопы, входящие в его состав: Б — высокоможжевеловое редколесье на выходах конгломератов в окрестностях Балаклавы, В — пицундкососново-можжевеловое редколесье на массиве Папая-Кая в окрестностях Весёлого, Г — петрофитные сообщества с участием *Juniperus excelsa* на юго-западном склоне горы Аю-Даг

Примечания. В состав подкомплекса включены массивы, сложенные разными горными породами, поэтому этот подкомплекс неоднороден и может быть разделён на ряд более мелких единиц. Объединяющим их фактором является существенное преобладание силикатов над карбонатами в химическом составе почвообразующих пород [Кочкин, 1967], что отражается на специфике флористического состава, а также на синтаксономической и биотопической структуре подкомплекса. В диагностическом блоке флоры можно выделить группу кальцефобных видов, таких как *Cerastium schmalhausenii*, *Hemionitis marantae*, *Rumex acetosella*, *Sedum aetnense*, *Sedum cespitosum*, *Sedum rubens*, *Stachys angustifolia*, *Trifolium hirtum*, *Vicia ervilia*.

Подкомплекс № 2 (ПК 2)

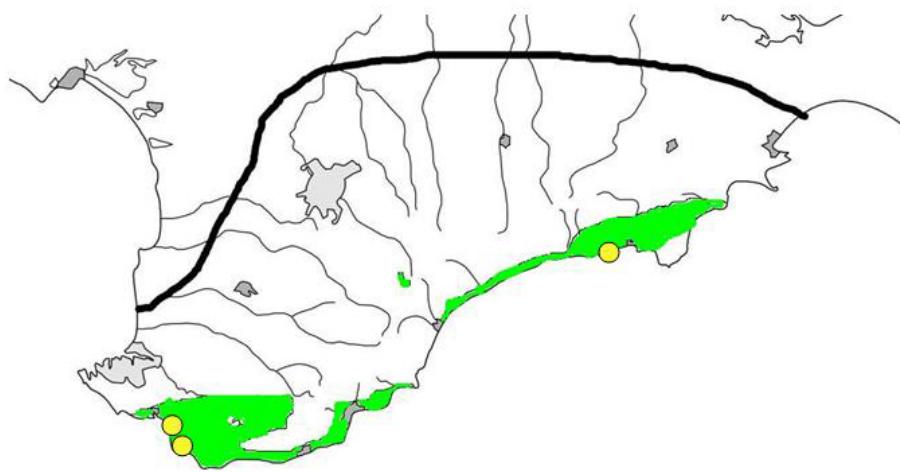
Обобщает приморские эрозионные ландшафты на среднеюрских тяжёлых глинах, алевролитах и четвертичных суглинках, часто засоленных.

Районы распространения: Новый Свет, Батилиман, окрестности Балаклавы (урочище Аязьма) (рис. 3).

Характерные биотопы: N1213, N221, N35, R1B, S3576, S51331, S5144, S516, S66*, T3A5*.

Классы растительности (звездочкой * здесь и далее отмечены классы растительности, специфические для данного подкомплекса): *Cakiletea maritimae*, *Crithmo-Staticetea*, *Pinetea halepensis*, *Quercetea pubescentis*, *Crataego-Prunetea*, *Festuco-Brometea*, *Festuco-Puccinellietea**

Флористическое богатство: 180 видов из 128 родов 43 семейств.



A



Б



В



Г

Рис. 3. Картосхема расположения подкомплекса № 2 — приморских эрозионных ландшафтов на среднеюрских тяжёлых глинах (А) и некоторые биотопы, входящие в его состав: Б — пицундскососновый лес на приморских склонах в окрестностях Балаклавы, В — бедленды юго-восточнее Балаклавы, Г — пицундскососновое редколесье на крутых приморских склонах в Новом Свете

Специфические виды флоры: *Astragalus guttatus* Banks et Sol., *Camphorosma monspeliacana* L., *Capparis spinosa* L. var. *herbacea* (Willd.) Fici, *Krascheninnikovia ceratoides* (L.) Gueldenst., *Lappula patula* (Lehm.) Menyh., *Limonium scoparium* (Pall. ex Willd.) H.Arnaud, *Rochelia retorta* (Pall.) Lipsky, *Zygophyllum fabago* L.

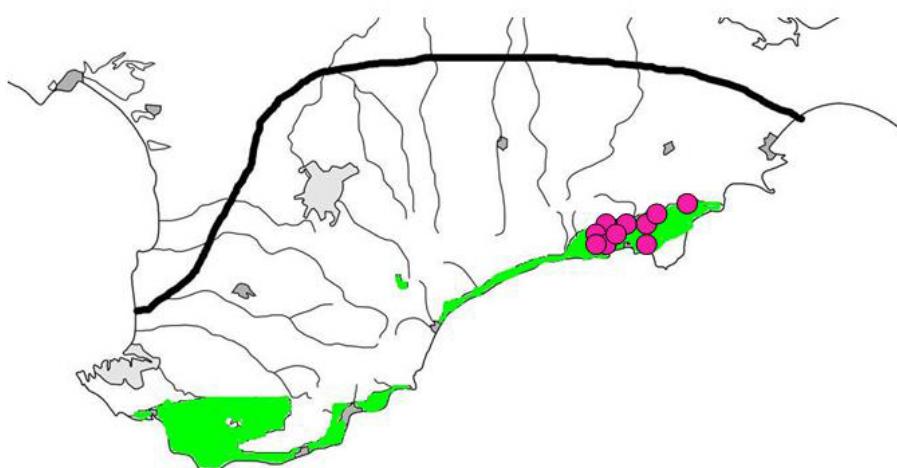
Дифференцирующие виды флоры: *Pinus brutia* var. *pityusa*, *Alyssum smyrnaeum*, *Filago arvensis*, *Helianthemum ledifolium* subsp. *lasiocarpum*, *Ornithogalum navaschinii* Agapova, *Scleranthus annuus* subsp. *collinus*, *Sedum cespitosum*, *Sedum rubens*.

Примечания. В состав подкомплекса наряду с крутыми склонами, сложенными преимущественно среднеюрскими алевролитами, входят застраивающие сосной пицундской приморские бедленды на выходах тяжёлых вязких глин со специфической флорой и растительностью, а также участки четвертичных отложений карангатской морской террасы. Это единственный подкомплекс, где в наиболее благоприятных эдафических и гидрологических условиях пониженных элементов рельефа формируются не только редколесья, но и леса с сомкнутым покровом и абсолютным доминированием сосны пицундской. Среди специфических видов флоры преобладают растения-эрзофилы.

Подкомплекс № 3 (ПК 3)

Известняковые массивы (олистолиты) Юго-Восточного Крыма, сформированные плотными рифовыми верхнеюрскими известняками.

Районы распространения: окрестности Судака, Краснокаменки (урочище Кизил-Таш) (рис. 4).



А



Б



В



Г

Рис. 4. Картосхема расположения подкомплекса № 3 — известняковых массивов Юго-Восточного Крыма (А) и некоторые биотопы, входящие в его состав: Б — общий вид пицундскососново-высокоможжевеловых редколесий в Новом Свете, В — старое высокоможжевеловое редколесье (Новый Свет), Г — высокоможжевеловое редколесье на осыпном известняковом склоне в Кизил-Таше

Характерные биотопы: N221, N322, N32424*, R13, R1B, S3576, S51331, S5144, U2A, U38.

Классы растительности: *Cakiletea maritimae*, *Crithmo-Staticetea*, *Pinetea halepensis*, *Quercetea pubescantis*, *Crataego-Prunetea*, *Festuco-Brometea*, *Sedo-Scleranthea*, *Asplenietea trichomanis*, *Drypidetea spinosae*.

Флористическое богатство: 271 вид из 172 родов 50 семейств.

Специфические виды флоры: *Brassica elongata* Ehrh. subsp. *pinnatifida* (Schmalh.) Greuter et Burdet, *Minuartia hamata* (Hausskn. et Bornm.) Mattf.

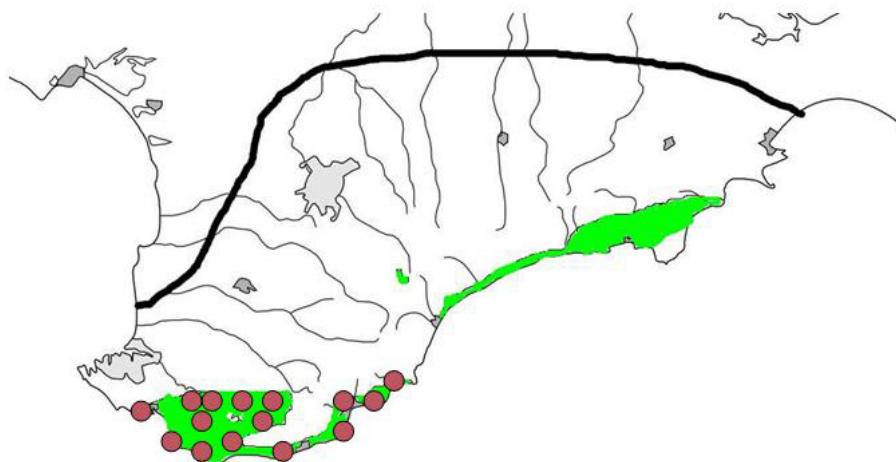
Дифференцирующие виды флоры: *Pinus brutia* var. *pityusa*, *Euphorbia ledebourii*, *Myosotis refracta*, *Ornithogalum navaschinii*, *Silene supina*, *Valeriana echinata*, *Valerianella falconida* Shvedtsch.

Примечания. Во флористическом отношении подкомплекс имеет широкие связи с другими подкомплексами анализируемого комплекса, а также с известняковыми биотопами яйл и предгорий Крыма. Среди немногочисленных диагностических видов выделяются кальцефилы *Brassica elongata* subsp. *pinnatifida*, *Minuartia hamata*, *Valerianella falconida*.

Подкомплекс № 4 (ПК 4)

Известняковые массивы нижнего и среднего высотного пояса Юго-Западного Крыма на выходах рифовых и слоистых верхнеюрских известняков, брекчий, карбонатных плиоцен-четвертичных глин и суглинков.

Основные районы распространения: Гурзуф, мыс Мартъян, окрестности Ялты, Ореанда, мыс Ай-Тодор, Симеиз, Форос, Ласпи, мыс Аия, высоты Кая-Баш, Байдарская долина, Чернореченский каньон, каньон Сухой речки, гора Гасфорта и прилегающая территория (рис. 5).



А



Б



В



Г

Рис. 5. Картосхема расположения подкомплекса № 4 — известняковых массивов Юго-Западного Крыма (А) и некоторые биотопы, входящие в его состав: Б — общий вид высокоможжевеловых редколесий в Чернореченском каньоне, В — кальцефильный вариант крымской гарриги в Гурзуфе, Г — молодое высокоможжевеловое редколесье и кальцефильный эфемеретум в окрестностях Фороса

Характерные биотопы: N221, N322, R13, R1B, R1D3, S3576, S51331, S5144, 51B3*, S52, S63F*, S63V, T3D7*, U2A, U38.

Классы растительности: *Cakiletea maritimae*, *Crithmo-Staticetea*, *Pinetea halepensis*, *Quercetea pubescentis*, *Quercetea ilicis*, *Crataego-Prunetea*, *Festuco-Brometea*, *Sedo-Scleranthesetea*, *Stipo-Trachynietea distachyae*, *Ononio-Rosmarinetea**, *Asplenietea trichomanis*, *Drypidetea spinosae*.

Флористическое богатство: 492 вида из 266 родов 63 семейств.

Специфические виды флоры: *Lysimachia linum-stellatum* L., *Arbutus andrachne* L., *Avena clauda* Durieu, *Bifora testiculata* (L.) Spreng., *Valeriana rubra* L., *Cercis siliquastrum* L., *Erysimum cheiri* (L.) Crantz, *Cypressus sempervirens* L., *Fraxinus ornus* L., *Fumana thymifolia* (L.) Webb, *Hippocrepis biflora* Spreng., *Laurus nobilis* L., *Medicago brachycarpa* Fisch. ex M.Bieb., *Medicago medicaginoides* (Retz.) E.Small, *Trigonella spicata* Sm., *Trigonella strangulata* Boiss., *Vicia orientalis* (Boiss.) Bég. et Diratz.

Дифференцирующие виды флоры: *Bupleurum fruticosum* L., *Hippocrepis ciliata*, *Lathyrus saxatilis*, *Lathyrus setifolius*, *Minuartia montana* subsp. *wiesneri*, *Pterocephalus plumosus*, *Rhamnus alaternus* L., *Sedum urvillei*, *Theligonum cynocrambe*, *Valeriana echinata*, *Valerianella falconida*, *Viburnum tinus* L.

Примечания. Подкомплекс выделен на основе общности литологического состава почвообразующих пород и флористических особенностей известняковых массивов. Он может быть разделён на две части: западный район Южного берега Крыма (юго-западный участок Массандровской олистостромы [Юдин, 2011]) и юго-западную оконечность Главной гряды (юго-западный участок Горнокрымской олистостромы [Юдин, 2011]). Каждая из них характеризуется своим составом специфических видов флоры при наличии общего для подкомплекса флористического ядра. При этом отличительной чертой южнобережного района является преобладание видов средиземноморского происхождения, в том числе чужеродных, что отражает как климатические особенности этой территории, так и высокую степень антропогенной преобразованности ландшафтов.

Подкомплекс № 5 (ПК 5)

Эрозионные ландшафты ЮБК на аргиллито-алевролито-песчаниковом терригенном флише таврической серии и средней юры.

Основные районы распространения: от окрестностей Судака до Алушты, Лименская долина, район мыса Сарыч (рис. 6).

Характерные биотопы: N1212*, N1213, N221, N35, R1D3, R1B, S3576, S51331, S516, S52, S63V, U24.

Классы растительности: *Cakiletea maritimae*, *Pinetea halepensis*, *Quercetea pubescentis*, *Quercetea ilicis*, *Crataego-Prunetea*, *Festuco-Brometea*, *Stipo-Trachynietea distachyae*, *Helianthemetea guttati*, *Sedo-Scleranthesetea*, *Ononio-Rosmarinetea*, *Drypidetea spinosae*.

Флористическое богатство: 242 вида из 163 родов 45 семейств.

Специфические виды флоры: *Thymelaea passerina* (L.) Coss. et Germ.

Дифференцирующие виды флоры: *Bupleurum fruticosum*, *Filago arvensis*, *Rhamnus alaternus*, *Scleranthus annuus* subsp. *collinus*, *Sedum aetnense*, *Sedum cespitosum*, *Sedum rubens*, *Stachys angustifolia*, *Taeniatherum caput-medusae*, *Trifolium arvense*, *Trifolium hirtum*, *Viburnum tinus*, *Vicia ervilia*, *Vicia hirsuta*.

Примечания. В состав этого подкомплекса входят песчаные пляжи из тёмного песка (биотоп N1212) — уникальные для ЮБК местообитания, площадь которых существенно сократилась за последние десятилетия. Их растительность, в которой доминируют однолетники, в частности включённый в Красную книгу Республики Крым (2015) *Cakile maritima* Scop. subsp. *euxina* (Pobed.) E.I. Nyárády, можно отнести к исчезающим в регионе сообществам. Набор диагностических видов флоры включает группы травянистых растений-кальцефобов, преимущественно

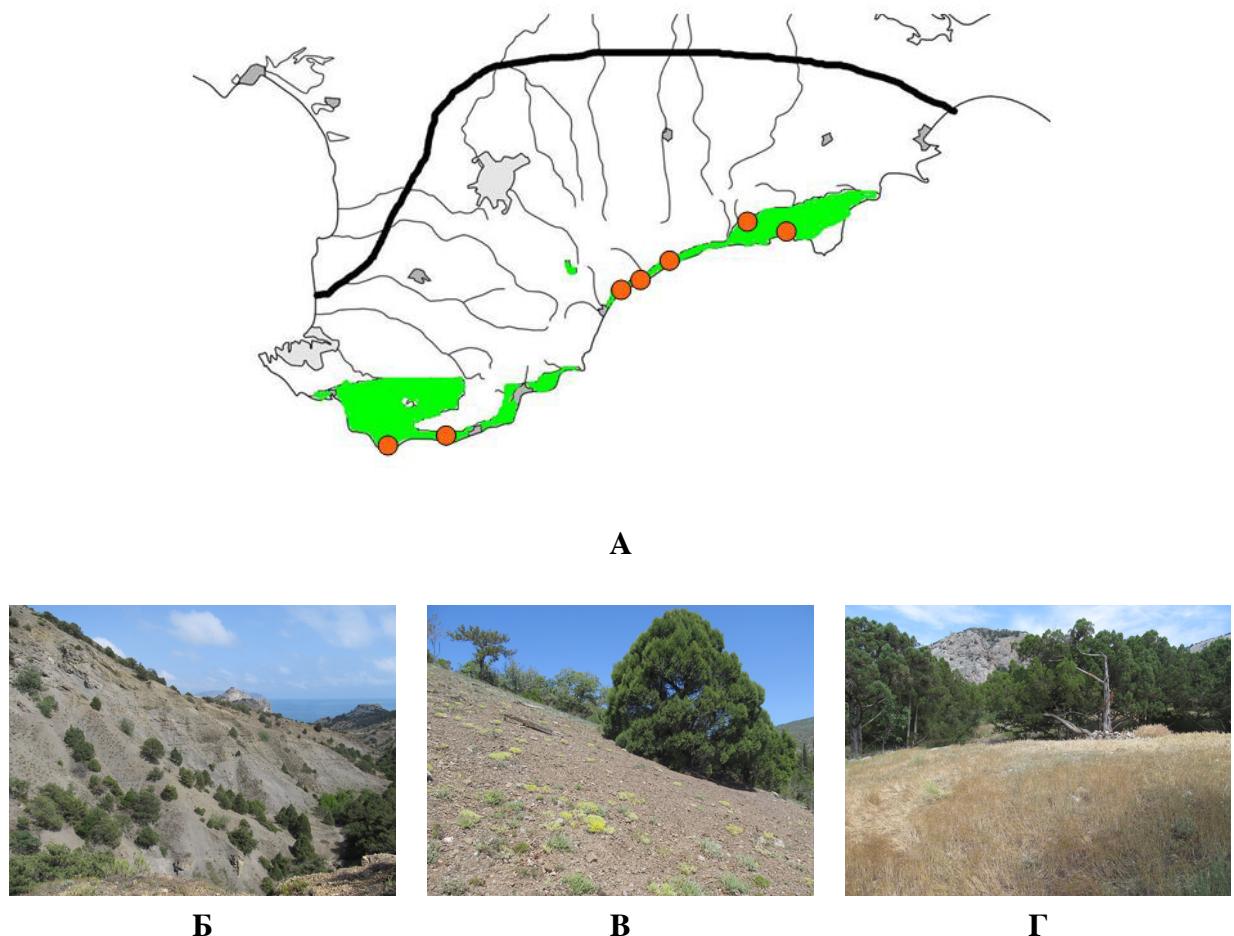


Рис. 6. Картосхема расположения подкомплекса № 5 — эрозионных ландшафтов ЮБК на терригенном флише таврической серии и средней юры (А) и некоторые биотопы, входящие в его состав: Б — высокоможжевеловые редколесья в эрозионном ландшафте на среднеюрском флише западнее Судака, В — молодое высокоможжевеловое редколесье на осыпных сланцевых склонах с разреженной птерофитной растительностью в уроцище Канака, Г — старое высокоможжевеловое редколесье и эфемеретум на мысе Сарыч

однолетников, и натурализовавшихся средиземноморских вечнозелёных кустарниковых экзотов, что сближает данный подкомплекс, с одной стороны, с подкомплексом массивов плотных бескарбонатных пород, с другой — с известняковыми массивами Юго-Западного Крыма.

В результате проведённого анализа установлено, что только в подкомплексе № 1 встречаются биотопы R122 (выветренные скалы и каменистые обнажения с разреженной растительностью), S75 (фриганоидные сообщества с доминированием колючих кустарников в Восточном Средиземноморье), U34 (удалённые от моря скалы из силикатных пород в Средиземноморье). Подкомплекс № 2 уникален присутствием местообитаний S66 (средиземноморские гало-нитрофильные кустарниковые сообщества) и T3A5 (леса из *Pinus brutia*). Только в подкомплексе № 3 выявлен региональный тип приморских биотопов N32424 (восточно-понтические сообщества берегового клифа). Исключительно для подкомплекса № 4 характерны биотопы S51B3 (восточно-средиземноморский высокий маквис), S63F (гаррига с доминированием *Helianthemum* и *Fumana* в Восточном Средиземноморье) и T3D7 (леса из *Juniperus excelsa*). В подкомплексе № 5 отмечен ставший редким для Горного Крыма биотоп N1212 (сообщества с доминированием однолетников на песчаных пляжах Понтического региона). В растительном покрове только для подкомплекса № 2 характерны сообщества класса *Festuco-Puccinellietea*, для подкомплекса № 4 — класса *Ononido-Rosmarinetea*, другие классы растительности отмечены в двух и более подкомплексах.

Флористическое своеобразие подкомплексов проявляется как в разном уровне таксономического богатства (рис. 7), так и в различном составе, объеме и роли отдельных таксонов (табл. 1).

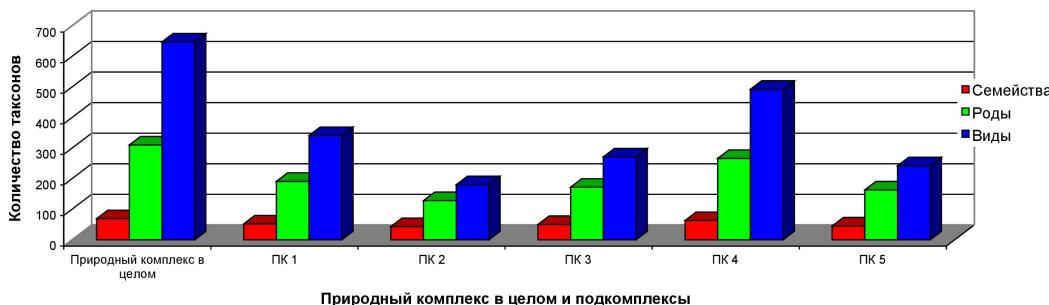


Рис. 7. Таксономическое богатство флор природного комплекса сосново-можжевеловых лесов и сопутствующих им нелесных биотопов Крымского Субсредиземноморья в целом и составляющих его подкомплексов

Установлено, что наибольшим флористическим богатством отличается подкомплекс № 4, включающий известняковые массивы Юго-Западного Крыма, наименьшим — подкомплекс № 2, для которого характерны приморские эрозионные ландшафты на среднеюрских тяжёлых глинах. С одной стороны, этот показатель, как правило, пропорционален площади, занимаемой тем или иным подкомплексом, с другой — он связан со свойствами коренной горной породы, а также со степенью антропогенного влияния. Полученные результаты в целом подтвердили известный факт большего флористического богатства и разнообразия кальцефильной растительности по сравнению с растительностью выходов бескарбонатных пород [Сохадзе, 1982]. Аналогичные закономерности ранее были установлены нами для флоры каменистых обнажений и высокоможжевеловых редколесий Крыма [Рыфф, 2003; Рыфф, Систематическая … , 2024].

Таблица 1
Роль ведущих семейств во флорах природного комплекса сосново-можжевеловых лесов и сопутствующих им нелесных биотопов Крымского Субсредиземноморья и составляющих его подкомплексов

Семейство	Комплекс в целом		ПК 1		ПК 2		ПК 3		ПК 4		ПК 5	
	Ранг	%	Ранг	%	Ранг	%	Ранг	%	Ранг	%	Ранг	%
Fabaceae Lindl.	1	11,75	1	13,49	4	8,89	3	7,01	2	11,18	1	16,53
Poaceae (R.Br.) Barnh.	2	11,44	2	12,9	1	17,22	1	12,92	1	11,99	3	13,64
Asteraceae Bercht. et J.Presl.	3	10,82	3	11,73	2	12,22	2	9,96	3	10,98	2	14,88
Brassicaceae Burnett	4	6,8	5	5,87	3	9,44	5–6	5,54	4	6,3	5	5,79
Apiaceae Lindl.	5–6	4,95	7–8	4,11	7–11	2,78	7	5,17	6	4,67	6–7	4,13
Lamiaceae Martinov	5–6	4,95	6	5,28	7–11	2,78	5–6	5,54	7	4,47	6–7	4,13
Caryophyllaceae Juss.	7	4,79	4	6,16	5	6,11	4	6,27	5	5,49	4	6,2
Boraginaceae Juss.	8	3,4	9	2,93	6	4,44	10–13	2,58	10	2,85	8	3,31
Rosaceae Juss.	9	3,09	7–8	4,11			8	3,69	8	3,25		
Rubiaceae Juss.	10	2,47	10	2,64			10–13	2,58	9	3,05	9	2,89
Caprifoliaceae Juss.							9	3,32				
Asparagaceae Juss.					7–11	2,78						
Chenopodiaceae Vent.					7–11	2,78						
Cistaceae Juss.					7–11	2,78	10–13	2,58				
Euphorbiaceae Juss.							10–13	2,58				
Plantaginaceae Juss.										10		2,48

Примечание: Числовые данные приведены только для семейств, входящих в состав десяти ведущих во флоре данного комплекса или подкомплекса.

Анализ спектра ведущих семейств, как один из главных инструментов сравнительной флористики [Толмачев, 1986; Хохряков, 2000], показал наличие определённых различий в структуре флоры разных подкомплексов (табл. 1). Всего выявлено 16 семейств, входящих в первую десятку хотя бы в одном из подкомплексов. Первую позицию во флоре природного комплекса в целом и подкомплексов на бескарбонатных породах (ПК 1 и ПК 5) занимает семейство Fabaceae, что подтверждают полученные некогда результаты [Рыфф, Систематическая … , 2024]. В то же время в подкомплексах на известняковых обнажениях, а также на глинах в лидеры выходит семейство Poaceae, что характерно и для ряда спектров подобных ценофлор, изученных ранее [Фатерыга, 2010; Рыфф, Систематическая … , 2024]. При этом первая «тройка» всегда включает Fabaceae, Poaceae и Asteraceae, за исключением подкомплекса № 2, где Fabaceae смещается на четвёртую позицию, уступая своё место Brassicaceae. Это доказывает средиземноморский характер флоры анализируемого природного комплекса, относящейся к Fabaceae-типу [Толмачев, 1986; Хохряков, 2000]. Снижение значимости семейства Fabaceae и повышение роли Brassicaceae в подкомплексе № 2, очевидно, объясняется как засолением, так и активным развитием процессов эрозии в глинистом субстрате, что приводит к формированию экстремальных биотопов, в которых крестоцветные, в силу эксплерентной жизненной стратегии многих их представителей, приобретают конкурентное преимущество. В других подкомплексах различные экзогенные геологические процессы тоже развиты достаточно сильно. В таксономической структуре флоры это находит отражение в высоком положении семейств Brassicaceae и Caryophyllaceae, стабильно возглавляющих вторые триады и определяющих соответствующий подтип флоры [Хохряков, 2000]. Эти данные в определённой степени опровергают существовавшее мнение о том, что флора ксерофитных можжевеловых редколесий Крыма и связанных с ними биотопов относится к Lamiaceae-подтипу и близка в этом отношении к среднеазиатским флорам [Дидух, 1992; Хохряков, 2000]. Ни в одном из изученных подкомплексов Lamiaceae не поднимается выше 5–6-го места в спектре, что подтверждает и позволяет шире экстраполировать результаты, ранее полученные нами для можжевеловых редколесий [Рыфф, 2023; Рыфф, Систематическая … , 2024]. Значительная роль Chenopodiaceae в подкомплексе № 2 свидетельствует о туранских связях флоры входящих в него биотопов. Вообще, этот подкомплекс наиболее своеобразен по составу и порядку расположения ведущих семейств.

Большая часть сообществ анализируемого природного комплекса располагается в пределах особо охраняемых природных территорий, созданных для их сбережения [Рыфф, 2023]. Однако некоторые массивы произрастают вне заповедных объектов, в частности в окрестностях Фороса, Голубого Залива, Симеиза, Гаспры, Никиты, Весёлого, Судака, Краснокаменки и других населённых пунктов. Они зачастую подвергаются существенному антропогенному воздействию, в том числе вырубке под застройку. Так, можжевеловое редколесье и примыкающие к нему биотопы с уникальной флорой, богатой редкими и охраняемыми видами [Рыфф, Волокитин, 2007; Красная книга … , 2015], за последние годы были полностью уничтожены в Гурзуфе, в урочищах Мёртвая долина и Гуровка [Рыфф, Флора … , 2024]. Полученные в рамках данного исследования материалы по характеристике природного комплекса сосново-можжевеловых лесов и входящих в него подкомплексов могут быть использованы при объективном планировании расширения сети охраняемых территорий и в целом для усовершенствования природоохранной деятельности, в том числе в рамках ранее предложенной стратегии [Рыфф, 2022].

Выводы

В результате проведённых исследований ландшафтной структуры природного комплекса пицундскососново-высокоможжевеловых лесов и сопутствующих им нелесных биотопов Крымского Субсредиземноморья выявлено 26 биотопов, относящихся к пяти типам высшего иерархического уровня EUNIS habitat classification.

Растительность представлена сообществами 14 классов: *Cakiletea maritimae*, *Crithmo-Staticetea*, *Sedo-Scleranthesetea*, *Festuco-Brometea*, *Festuco-Puccinellietea*, *Stipo-Trachynietea distachyaе*, *Helianthemetea guttati*, *Ononido-Rosmarinetea*, *Crataego-Prunetea*, *Pinetea haleensis*, *Quercetea pubescentis*, *Quercetea ilicis*, *Asplenietea trichomanis*, *Drypidetea spinosae*.

В составе флоры анализируемого природного комплекса зарегистрировано 647 видов из 310 родов 69 семейств сосудистых растений.

В изученном природном комплексе на основании различий типа коренной горной породы, композиций биотопов и растительных сообществ выделено пять подкомплексов: 1 — массивы плотных бескарбонатных пород; 2 — эрозионные ландшафты на среднеюрских тяжёлых глинах; 3 — известняковые массивы Юго-Восточного Крыма; 4 — известняковые массивы Юго-Западного Крыма; 5 — эрозионные ландшафты на терригенном флише таврической серии и средней юры.

На основе анализа биотопической, фитоценотической и флористической структуры установлено, что изученный природный комплекс представляет собой единое целое, в то же время он неоднороден, а в каждом подкомплексе сочетание местообитаний, композиция характерных для них растительных сообществ и таксономический состав флоры уникальны. Наибольшим биотопическим и фитоценотическим разнообразием и флористическим богатством характеризуется подкомплекс известняковых массивов Юго-Западного Крыма, а самым своеобразным по составу и структуре компонентов является подкомплекс эрозионных ландшафтов на среднеюрских тяжёлых глинах.

Полученные результаты могут быть использованы при планировании природоохранных мероприятий с целью повышения их эффективности.

Список литературы

1. Белоновская Е. А., Морозова О. В. Типификация и коррекция синтаксонов лесной растительности Западного Кавказа // Разнообразие растительного мира. – 2021. – № 3. – С. 28–36. – <https://doi.org/10.22281/2686-9713-2021-3-28-36>
2. Василенко С. М., Кузьманенко О. Л. Характеристика популяції *Juniperus excelsa* Bieb. в урочищі Кизилташ (Південно-Східний Крим): щільність, вікова структура, ценотична і екологічна оцінка // Чорноморський ботанічний журнал. – 2009. – Т. 5, № 1. – С. 133–139.
3. Васильев В. Ф. К характеристике можжевеловых лесов Крыма // Журнал русского ботанического общества. – 1931. – Т. 16, № 4. – С. 297–312.
4. Голубев В. Н., Коржаневский В. В. Методические рекомендации по геоботаническому изучению и классификации растительности Крыма. – Ялта : ГНБС, 1985. – 32 с. – <https://elibrary.ru/ujqlut>
5. Дидух Я. П. Растительный покров Горного Крыма (структуря, динамика, эволюция и охрана) / АН Украины, Ин-т ботаники им. Н. Г. Холодного. – Киев : Наук. думка, 1992. – 256 с.
6. Дидух Я. П., Вакаренко Л. П., Шеляг-Сосонко Ю. Р. Флористическая классификация хвойных лесов нижнего пояса растительности Горного Крыма // Ботанический журнал. – 1986. – Т. 71, № 3. – С. 281–291.

7. Дідух Я. П., Кузьманенко О. Л. Класифікація та еколо-ценотична характеристика біотопів лісів та рідколіс Судацько-Феодосійського геоботанічного району Гірського Криму // Наукові записки Національного університету «Києво-Могилянська академія». Серія: Біологія та екологія. – 2008. – Т. 80. – С. 33–43.
8. Ена А. В. Природная флора Крымского полуострова. – Симферополь : Н. Оріанда, 2012. – 232 с. – <https://www.elibrary.ru/wnnske>
9. Ермаков Н. Б. Высшие единицы сосновых лесов России в связи с общей концепцией классификации растительности Северной Евразии // Биология растений и садоводство: теория, инновации. – 2020. – № 4. – С. 94–113. – <https://doi.org/10.36305/2712-7788-2020-4-157-94-113>
10. Коба В. П., Макаров Н. А. Эдафические условия насаждений *Pineta pityusa* Горного Крыма // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 134–147. – <https://elibrary.ru/avdjvn>
11. Коржаневский В. В., Багрикова Н. А., Рыфф Л. Э., Левон А. Ф. Продромус растительности Крыма (20 лет на платформе флористической классификации) // Бюллетень Главного ботанического сада. – 2003. – Вып. 186. – С. 32–51. – <https://www.elibrary.ru/ygnguy>
12. Kochkin M. A. Почвы, леса и климат горного Крыма и пути их рационального использования. – Москва : Колос, 1967. – 368 с. – (Научные труды / Гос. Никит. ботан. сад ; т. 38).
13. Крайнюк Е. С. Аннотированный список высших сосудистых растений природного заповедника «Мыс Мартъян» // Научные записки природного заповедника «Мыс Мартъян». – 2012. – Вып. 3. – С. 83–105. – <https://www.elibrary.ru/vdubsl>
14. Крайнюк Е. С., Голубева И. В. Конспект сосудистых растений памятника природы «Гора Кошка» // Научные записки природного заповедника «Мыс Мартъян». – 2014. – Вып. 5. – С. 94–110. – <https://www.elibrary.ru/ucnblh>
15. Крайнюк Е. С., Рыфф Л. Э. Флора ботанического заказника «Новый Свет» и прилегающих природных ландшафтов Юго-Восточного Крыма // Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского – природного заповедника РАН. – 2022. – № 4. – С. 3–32. – <https://www.elibrary.ru/mhuodm>
16. Крайнюк Е. С., Рыфф Л. Э. Флора природного заказника «Папая-Кая» в Юго-Восточном Крыму // Научные записки природного заповедника «Мыс Мартъян». – 2019. – Вып. 10. – С. 81–105. – <https://doi.org/10.36305/2413-3019-2019-10-81-105>
17. Красная книга города Севастополя / Гл. упр. природ. ресурсов и экологии г. Севастополя ; редкол.: Самойлов С. Ю. [и др.]. – Калининград [и др.] : РОСТ-ДОАФК, 2018. – 432 с. – <https://www.elibrary.ru/xynzfb>
18. Красная книга Республики Крым. Растения, водоросли и грибы / отв. ред. А. В. Ена, А. В. Фатерыга. – Симферополь : Ариал, 2015. – 480 с. – <https://www.elibrary.ru/wxeqef>
19. Малеев В. Ф. Можжевеловый лес на мысе Мартъян в Южном Крыму // Ботанический журнал. – 1933. – Т. 18, № 6. – С. 446–468.
20. Малеев В. П. Пицундская сосновая роща. – Сухум : [б. и.], 1927. – 35 с. – (Труды Абхазского научного общества ; т. 1, вып. 2).
21. Малеев В. Ф. Растительность Южного Крыма // Труды Государственного Никитского ботанического сада им. В. М. Молотова. – Симферополь : Крымиздат, 1948. – Т. 25, вып. 1/2. – С. 29–48.
22. Муратов М. В. Геология Крымского полуострова. – Москва : Недра, 1973. – 192 с. – (Руководство по учебной геологической практике в Крыму ; т. 2).
23. Определитель высших растений Крыма / под общ. ред. Н. И. Рубцова. – Ленинград : Наука, 1972. – 550 с.
24. Определитель высших растений Украины / АН УССР, Ин-т ботаники им. Н. Г. Холодного ; редкол.: Ю. Н. Прокудин [и др.]. – Киев : Наук. думка, 1987. – 548 с.

25. Плугатар Ю. В., Яриш Н. С. Ялівець високий (*Juniperus excelsa* M.B.) у Гірському Криму // Науковий вісник НЛТУ України / Нац. лісотехн. ун-т. – Львів, 2010. – Т. 20, № 7. – С. 31–41. – <https://www.elibrary.ru/ujcoyb>
26. Плугатарь Ю. В. Леса Крыма / Рос. акад. наук, Никит. ботан. сад – нац. науч. центр. – Симферополь : Ариал, 2015. – 368 с. – <https://elibrary.ru/tzjpjh>
27. Рубцов Н. И. Растительный мир Крыма. – Симферополь : Таврия, 1978. – 128 с.
28. Рыфф Л. Э. Анализ флоры высокоможжевеловых редколесий Горного Крыма // Биология растений и садоводство: теория, инновации. – 2023. – № 4. – С. 49–66. – <https://doi.org/10.25684/2712-7788-2023-4-169-49-66>
29. Рыфф Л. Э. Биотопическая характеристика некоторых редких видов флоры в Юго-Западном Крыму // Экосистемы. – 2017. – Вып. 11. – С. 14–23. – <https://elibrary.ru/zxqwzd>
30. Рыфф Л. Э. Ботанико-географические особенности сосново-можжевеловых лесов Горного Крыма // Горные экосистемы и их компоненты : материалы VIII Всерос. конф. с междунар. участием, посвящ. Году науки и технологий в Российской Федерации (Нальчик, 20–25 сент. 2021 г.) / Ин-т экологии гор. территорий им. А. К. Темботова РАН. – Нальчик : ИЭГТ, 2021. – С. 48–49. – <https://elibrary.ru/lwwpyf>
31. Рыфф Л. Э. Заметки к стратегии природоохранной деятельности в Крыму // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2022. – Т. 8, вып. 4. – С. 53–59. – <https://elibrary.ru/wsribt>
32. Рыфф Л. Э. О степени флористического сходства растительности обнажений разных пород Горного Крыма // Вісник Харківського національного аграрного університету ім. В. В. Докучаєва. Серія: Біологія. – 2003. – № 5 (3)[?]. – С. 74–79.
33. Рыфф Л. Э. Природный комплекс известняковых ландшафтов Южного берега Крыма // Устойчивость природных ландшафтов и их компонентов к внешнему воздействию : сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. (Грозный, 18–19 окт. 2024 г.) / Чечен. гос. ун-т им. А. А. Кадырова. – Грозный : ЧГУ, 2024. – С. 528–531. – URL: <https://chesu.ru/doc?p=c5c88fe2b464a47b> (дата обращения: 29.01.2025).
34. Рыфф Л. Э. Природный комплекс сосново-можжевеловых редколесий Крымского Субсредиземноморья: биотопический и фитоценотический аспекты // Изучение и сохранение биоразнообразия в ботанических садах и других интродукционных центрах : тезисы II междунар. науч.-практ. конф. (Донецк – Ялта, 21–25 окт. 2024 г.) / Рос. акад. наук [и др.]. – Симферополь : Ариал, 2024. – С. 81.
35. Рыфф Л. Э. Редкие биотопы эрозионно-денудационных ландшафтов Юго-Восточного Крыма // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2017. – Вып. 124. – С. 61–71. – <https://elibrary.ru/zqjacr>
36. Рыфф Л. Э. Систематическая структура ценофлор высокоможжевеловых редколесий Горного Крыма // Биология растений и садоводство: теория, инновации. – 2024. – № 2. – С. 81–96. – <https://elibrary.ru/iugmgs>
37. Рыфф Л. Э. Флора известняковых ландшафтов Гурзуфского амфитеатра (Южный берег Крыма) // Научные записки природного заповедника «Мыс Мартыян». – 2024. – Вып. 15. – С. 77–118. – <https://elibrary.ru/kgodsc>
38. Рыфф Л. Э., Волокитин Ю. С. Конспект флоры высших сосудистых растений уроцища Мертвая долина (Южный берег Крыма) // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2007. – Вып. 94. – С. 14–20. – <https://elibrary.ru/ulsuxr>
39. Рыфф Л. Э., Крайнюк Е. С. Флора мыса Ай-Тодор на Южном берегу Крыма // Научные записки природного заповедника «Мыс Мартыян». – 2017. – Вып. 8. – С. 61–78. – <https://elibrary.ru/zufrcp>
40. Саркина И. С., Рыфф Л. Э. Микокомплекс сообществ сосны брутийской (*Pinus brutia* Ten.) в Южном Крыму // Материалы

- пятого съезда микологов России, Москва, 12–14 октября 2022 г. / Нац. акад. микологии ; гл. ред. Сергеев А. Ю. – Москва : Нац. акад. микологии, 2022. – С. 146–147. – (Современная микология в России ; т. 9).
41. Сохадзе Е. В. Известняки и растительность (ботанико-географический анализ на примере Евразии). – Тбилиси : Мецниереба, 1982. – 162 с.
42. Станков С. С. Основные черты в распределении растительности Южного Крыма (Севастополь – Феодосия) // Ботанический журнал. – 1933. – Т. 18, № 1/2. – С. 66–94.
43. Толмачев А. И. Методы сравнительной флористики и проблемы флюорогенеза / АН СССР, Сибир. отд-ние, Центр. Сибир. ботан. сад, Всесоюз. ботан. о-во, Новосиб. отд-ние ; отв. ред. Л. И. Малышев, И. М. Красноборов. – Новосибирск : Наука, 1986. – 196 с.
44. Фатерыга В. В. Эколо-биологическая структура флоры высокоможжевеловых лесов Южного берега Крыма в условиях рекреационного воздействия // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2010. – Вып. 3. – С. 21–26. – <https://elibrary.ru/vkbkox>
45. Хохряков А. П. Таксономические спектры и их роль в сравнительной флористике // Ботанический журнал. – 2000. – Т. 85, № 5. – С. 1–11.
46. Шатко В. Г., Миронова Л. П. Конспект флоры района Кизилташа (Юго-Восточный Крым) // Бюллетень Главного ботанического сада. – 2008. – № 194. – С. 158–165.
47. Шведчикова Н. К. Сосново-можжевеловые леса в Восточном Крыму // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. – 1983. – Т. 88, вып. 4. – С. 125–134.
48. Юдин В. В. Геодинамика Крыма. – Симферополь : ДИАЙПИ, 2011. – 336 с.
49. Bonari G., Fernández-González F., Coban S. et al. Classification of the Mediterranean lowland to submontane pine forest vegetation // Applied Vegetation Science. – 2021. – Vol. 24, iss. 1. – Art. e12544. – <https://doi.org/10.1111/avsc.12544>
50. Chytrý M., Řezníčková M., Novotný P. et al. FloraVeg.EU – An online database of European vegetation, habitats and flora // Applied Vegetation Science. – 2024. – Vol. 27, iss. 3. – Art. e12798. – <https://doi.org/10.1111/avsc.12798>
51. Chytrý M., Tichý L., Hennekens S. M. et al. EUNIS habitat classification: expert system, characteristic species combinations and distribution maps of European habitats // Applied Vegetation Science. – 2020. – Vol. 23, iss. 4. – P. 648–675. – <https://doi.org/10.1111/avsc.12519>
52. EUNIS habitat type hierarchical view : (marine version 2022 & terrestrial version 2021) // European Environment Agency : [site]. – URL: <https://eunis.eea.europa.eu/habitats-code-browser-revised.jsp> (accessed: 18.02.2025).
53. Euro+Med PlantBase 2006+ : Euro+Med PlantBase – the information resource for Euro-Mediterranean plant diversity / Europ. Distributed Inst. of Taxonomy. – Continuously updated. – URL: <https://europlusmed.org> (accessed: 26.02.2025).
54. Ilyinska A., Ryff L., Yevseyenkov P., Svirin S. Alyssum smyrnaeum (Brassicaceae): new records for Crimean flora // Phytologia Balcanica. – 2021. – Vol. 27, iss. 1. – P. 59–69. – <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22483.50723>
55. IPNI. The International Plant Names Index / The Royal Botanic Gardens. – URL: <https://www.ipni.org> (accessed: 28.02.2025).
56. Kavgaci A., Balpinar N., Öner H. H., Arslan M., Bonari G., Chytrý M., Čarní A. Classification of forest and shrubland vegetation in Mediterranean Turkey // Applied Vegetation Science. – 2021. – Vol. 24, iss. 2 – Art. e12589. – <https://doi.org/10.1111/avsc.12589>
57. Ketenoglu O., Tug G. N., Bingol U., Geven F., Kurt L., Guney K. Synopsis of syntaxonomy of Turkish forests // Journal of Environmental Biology. – 2010. – Vol. 31. – P. 71–80. – URL: http://www.jeb.co.in/journal_issues/201001_jan10/paper_08.pdf (accessed: 28.02.2025).

58. Matevski V., Čarni A., Kostadinovski M., Marinšek A., Mucina L., Paušič A., Šilc U. Notes on phytosociology of *Juniperus excelsa* in Macedonia (southern Balkan Peninsula) // Haquetia. – 2010. – Bd. 9, h. 1. – S. 93–97. – 60. bryophyte, lichen, and algal communities // Applied Vegetation Science. – 2016. – Vol. 19, suppl. 1. – P. 3–264. – <https://doi.org/10.1111/avsc.12257>
59. Mucina L., Bültmann H., Dierßen K. et al. // Plants of the World Online / Vegetation of Europe: hierarchical floristic classification system of vascular plant, The Royal Botanic Gardens. – Kew, UK, 2017–. – URL: <https://powo.science.kew.org/> (accessed: 25.01.2025).

**THE STRUCTURE OF THE NATURAL COMPLEX OF *PINUS BRUTIA* VAR. *PITYUSA*
AND *JUNIPERUS EXCELSA* FORESTS AND ASSOCIATED BIOTOPES
OF THE CRIMEAN SUB-MEDITERRANEAN**

Ryff L. E.

*Nikitsky Botanical Garden – National Scientific Centre, Yalta, Russian Federation,
e-mail: lyubov.ryff@yandex.ru*

Abstract: The biotopic, syntaxonomic and floristic characteristics of the natural complex of *Pinus brutia* var. *pityusa* and *Juniperus excelsa* forests and accompanying habitats of Mountainous Crimea are given. The complex consists of the communities of 14 classes of vegetation and 26 biotopes belonging to five types of the highest hierarchical level of the EUNIS habitat classification. The flora includes 647 species from 310 genera of 69 families of vascular plants. Five subcomplexes are distinguished: 1 — massifs of dense non-carbonate rocks; 2 — erosional landscapes on Middle Jurassic heavy clays; 3 — limestone massifs of the South-Eastern Crimea; 4 — limestone massifs of the South-Western Crimea; 5 — erosional landscapes on the flysch of the Tauricheskaya series and the Middle Jurassic. For each subcomplex, a map of distribution in Crimea, lists of habitats, vegetation classes, specific and differential species of flora are provided, and floristic richness is assessed. It has been established that the subcomplex of limestone massifs of the South-Western Crimea is characterized by the greatest biotopic and phytocoenotic diversity and floristic richness, and the subcomplex of erosional landscapes on heavy clays is the most unique in composition and structure of components.

Keywords: natural complex, pine-juniper forests, biotopes, EUNIS habitat classification, *Pinus brutia* Ten., *Juniperus excelsa* M.Bieb., Crimea

Сведения об авторе

Рыфф
Любовь
Эдуардовна

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник лаборатории флоры и растительности, ФГБУН «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», Никитский спуск, 52, г. Ялта, пгт Никита, 298648, Российская Федерация, e-mail: lyubov.ryff@yandex.ru

*Поступила в редакцию 11.03.2025
Принята к публикации 25.09.2025*

ПРИРОДООХРАННАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАКАЗНИКА «ЛАСПИ» (Г. СЕВАСТОПОЛЬ)^{*}

Бондарева Л. В.

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

г. Севастополь, Российская Федерация,

e-mail: lbondareva@ibss-ras.ru

Аннотация: На основании данных проведённых комплексных исследований и анализа литературных источников охарактеризован государственный природный заказник регионального значения «Ласпи». Показано, что заказник реализует пять природоохранных функций, его текущая природоохранная эффективность составляет 88 %, что определено низкими значениями для эталонной (71 %), рефугиумной (86 %) и «монументальной» (83 %) составляющих. Заказник «Ласпи» не является ключевым объектом для сохранения редких охраняемых видов и биотопов в мировом масштабе, но в России играет существенную роль для сохранения популяций девяти видов и подвидов сосудистых растений, пяти видов животных (категории II) и трёх биотопов. Выявлены причины неполноты природоохранной эффективности заказника в отношении следующих объектов: чужеродных и синантропных видов, антропогенно нарушенных и трансформированных сообществ, биотопов и экосистем, можжевеловых лесов союза *Jasmino-Juniperion excelsae*, охраняемых видов сосудистых растений (*Juniperus excelsa*, *J. deltoides* и *Trachomitum venetum* subsp. *sarmatiense*), биотопов средиземноморских можжевеловых лесов и старовозрастных деревьев. Для всех проанализированных объектов отмечено сильное влияние недостатков управления и незаконного природопользования. При реализации полного комплекса действий по сохранению и оптимизации природного заказника «Ласпи» значения всех составляющих перспективной эффективности возрастут. К потенциальным угрозам для заказника относятся пять категорий природных воздействий и шесть антропогенных, самыми актуальными из которых являются группы угроз, связанных с нарушениями природоохранного режима и разрешёнными видами деятельности. Общий показатель устойчивости ООПТ к долговременным изменениям среды составляет 85 %, в случае ухудшения условий он снизится до 72 %. В целом заказник «Ласпи» является репрезентативным эталоном как для г. Севастополя, так и для Крымского полуострова и соответствует природоохранному профилю ландшафтного объекта.

Ключевые слова: природоохранная ценность, ООПТ, охрана природы, красная книга, биотопы, Крым

Введение

Региональная природоохранная сеть г. Севастополя — одна из самых представительных в России, с высокой созологической ценностью [Мильчакова, Бондарева, Александров, 2022]. К её крупным объектам относится государственный природный заказник (далее — ГПЗ) «Ласпи», созданный в 2018 г. с целью сохранения природных комплексов Южного берега Крыма [Кадастровое дело … , 2022]. Он имеет важное средообразующее и эстетическое значение, занимает 1,2 % территории г. Севастополя и 4,9 % от суммарной площади всех особо охраняемых природных территорий (далее — ООПТ) региона. Природные комплексы заказника испытывают значительное антропогенное влияние из-за многочисленных объектов стационарной, полустационарной и временной рекреации, расположенных как в его границах, так и на прилегающих участках

*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).

[Морские … , 2015; Каширина, Панкеева, 2023]. В последние годы были проведены исследования флоры и фауны ГПЗ «Ласпи», обобщены данные многолетних наблюдений, в том числе охраняемых таксонов [Панкеева, Миронова, 2018; Кукушкин и др., 2019; Саркина, Мильчакова, Пономаренко, 2023; Оказание … , 2023; Прокопенко и др., 2024; Бондарева и др., 2024], что позволяет проанализировать его роль в сохранении биологического и ландшафтного разнообразия.

Выявление реальной роли ООПТ в сохранении природного разнообразия является актуальной задачей, в том числе из-за усиления использования их в рекреационных целях [Мухлынина, 2025]. Методика оценки природоохранной эффективности ООПТ и их региональных систем [Стишов, 2012] позволяет показать эту роль в условиях существующих и перспективных воздействий природных и антропогенных факторов. Согласно методическому подходу природоохранная ценность объекта складывается из пяти основных природоохранных функций: эталонной, рефугиумной, резерватной, «монументальной» и эколого-стабилизационной. По нашему мнению, к достоинствам методики относится возможность выявить для конкретного объекта таксоны и природные комплексы, сохранение которых особенно важно на международном, государственном и региональном уровнях. Она учитывает состояния экосистем заповедных объектов и, по сути, соответствует современным мировым тенденциям по охране природы и основным критериям МСОП, таким как сокращение ареала, ограниченное распространение вида или синтаксона, деградацию абиотических условий, нарушение биотических процессов и риск разрушения экосистемы при воздействии нескольких негативных факторов [Дудов и др., 2025].

Оценка природоохранной эффективности дана для многих ООПТ России [Стишов, 2012; Зубков и др., 2019; Петров, 2021; Сергеева и др., 2023; Розломий, 2024], однако для ООПТ г. Севастополя она отсутствует. В связи с этим цель работы — выявление природоохранной ценности, значимости и эффективности ГПЗ «Ласпи».

Материал и методы

ГПЗ «Ласпи» (рис. 1) общей площадью 1232,74 га расположен в Балаклавском районе г. Севастополя, основную часть его территории занимает Ласпинский амфитеатр [Кадастровое дело … , 2022]. Заказник отличается высоким уровнем биологического, фитоценотического и ландшафтного разнообразия [Панкеева, Миронова, 2018; Бондарева и др., 2024].

Характеристика ГПЗ «Ласпи» проведена по методике оценки природоохранной эффективности ООПТ и их региональных систем [Стишов, 2012], в соответствии с которой рассчитаны значения: 1) природоохранной ценности, текущей природоохранной эффективности и природоохранной значимости; 2) потенциальных угроз и безопасности; 3) устойчивости к долговременным изменениям природной среды; 4) перспективной природоохранной эффективности ООПТ. В каждом случае, когда оцениваемые показатели оказывались ниже максимально возможных, были выявлены основные негативные факторы, а также перспективы улучшения ситуации в будущем. Для всех полученных в ходе оценки показателей рассчитаны значения, которые могут быть достигнуты в результате реализации доступных мер по сохранению природных комплексов, а также определены пределы возможной оптимизации таких показателей.

Анализ данных для ГПЗ «Ласпи» проведён по опубликованным и архивным данным [Панкеева, Миронова, 2018; Кукушкин и др., 2019; Саркина, Мильчакова, Пономаренко, 2023; Бондарева и др., 2024; Прокопенко и др., 2024], а также по материалам маршрутно-экспедиционных исследований, выполненных в 2021–2023 гг. специалистами лаборатории фиторесурсов ФИЦ ИнБЮМ в рамках государственного мониторинга ООПТ г. Севастополя [Оказание … , 2023]. Номенклатура и ареалы таксонов, синтаксонов (до уровня класса и союза) и биотопов приведены по современным данным [Chytrý et al., 2020; Preislerová et al., 2022; Chytrý et al., 2024; POWO],

природоохраный статус видов — по Красной книге РФ (далее ККРФ) [Красная книга … , 2021; Красная книга … , 2024] и Красной книге города Севастополя (далее ККС) [Красная книга … , 2018]. Списки хозяйствственно-ценных видов и диких родичей культурных растений составлены по основным сводкам [Голубев, 1996; Каталог-справочник … , 2005]. Охотниче-промышленные виды приведены с учётом данных для г. Севастополя [Ежегодный государственный … , 2025].

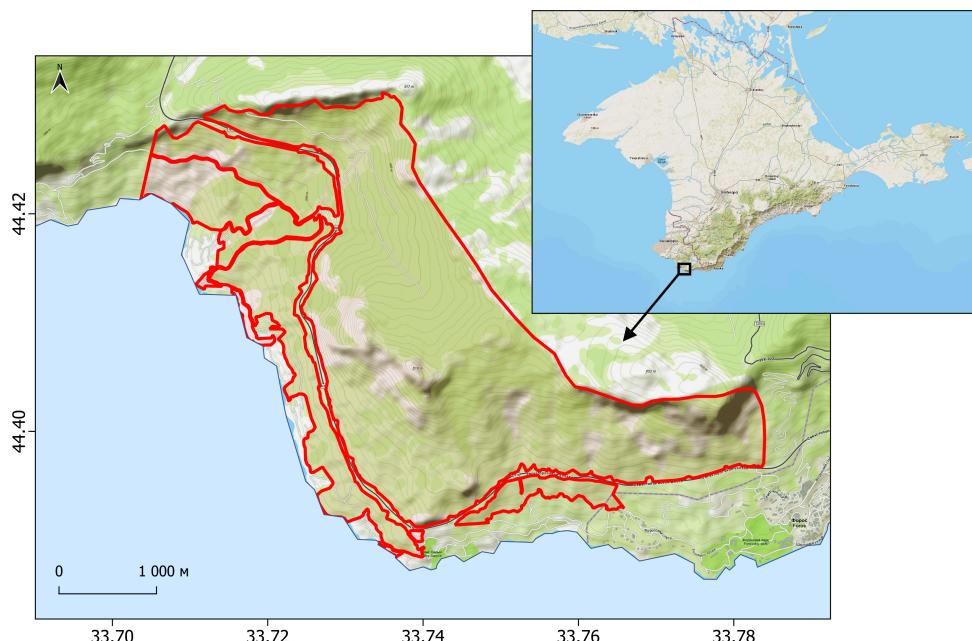


Рис. 1. Границы государственного природного заказника регионального значения «Ласпи»

Для определения эталонных фитоценозов был использован эколого-флористический подход Ж. Браун-Бланке [Preislerová et al., 2022], классификация местообитаний выполнена на основе EUNIS Habitat Classification [Chytrý et al., 2024]. К редким для России и Европы отнесены биотопы, внесённые в Европейский красный список [Chytrý et al., 2020]. Поскольку ГПЗ «Ласпи» граничит с ГПЗ «Байдарский», ГПЗ «Мыс Айя» и двумя памятниками природы, «неохраняемым окружением» принято считать прилегающие к заказнику участки рекреационного назначения или иного хозяйственного использования (автодороги, ЛЭП и т. п.).

Результаты и обсуждение

Эталонная функция. Потенциальное (исходное) видовое богатство сосудистых растений, позвоночных и беспозвоночных животных (за исключением менее разнообразного орнитокомплекса) ГПЗ «Ласпи» близко к среднему для локальных флор и фаун ЮБК [Кукушкин и др., 2019; Бескаравайный, Гирагосов, 2023; Прокопенко, 2024]. В настоящее время оно сохраняется на близком к естественному уровне, а после создания заказника на многих нарушенных участках наблюдаются процессы восстановления. Характерное для заказника ландшафтно-биотическое разнообразие имеет особое значение для охраны типичных и уникальных природных комплексов Крыма [Панкеева, Миронова, 2018; Горбунов и др., 2019]. Оценка контраста с окружением показала, что на граничащих с заказником участках, вовлечённых в хозяйственную деятельность, флористическое и фаунистическое разнообразие ниже, многие виды отсутствуют. На момент исследований природоохранная ценность ГПЗ «Ласпи» в равной степени обусловлена как видовым богатством, так и ландшафтным разнообразием территории, при этом тенденции снижения для обеих составляющих отсутствуют.

Особенностью ГПЗ «Ласпи» является относительное обилие чужеродных, синантропных видов, а также фитоценозов с их участием. Это связано с хозяйственным освоением территории до 2018 г. и нарушениями природоохранного режима после создания ООПТ. На территории заказника распространены искусственные посадки интродуцентов (*Spartium junceum* L., *Cupressus sempervirens* L. и др.), а также представителей аборигенной флоры Крыма (*Pinus pityusa* Steven, *Pinus pallasiana* D. Don), которые к настоящему времени натурализовались. В составе природных сообществ были отмечены чужеродные виды (*Opuntia humifusa* (Raf.) Raf., *Mahonia aquifolium* (Pursh) Nutt., *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle), являющиеся опасными инвазионными растениями региона [Багрикова и др., 2021]. Близость территории к разнообразным рекреационным объектам привела к распространению кошек и собак, что сказывается на численности некоторых представителей фауны, в том числе охраняемых видов [Красная книга … , 2018; Кукушкин и др., 2019]. В настоящее время синантропные, инвазионные виды растений и одичавшие животные встречаются единично и не оказывают значимого негативного влияния на аборигенные флору и фауну, площадь чуждых сообществ не увеличивается. Однако в целом природоохранная эффективность ГПЗ «Ласпи» в отношении вышеперечисленных компонентов и составляющих снижена вдвое.

На территории ГПЗ «Ласпи» отмечены три основных типа эталонных фитоценозов и соответствующие им биотопы, широко распространённые в естественных ландшафтах ЮБК [Корженевский и др., 2003]. В нижнем поясе заказника отмечены субсредиземноморские горные открытые сухие можжевеловые леса союза *Jasmino-Juniperion excelsae* Didukh, Vakarenko et Shelyag-Sosonko ex Didukh 1996 (класса Junipero-Pinetea sylvestris Rivas-Mart. 1965) [Preislerová et al., 2022], которые относятся к биотопу средиземноморских можжевеловых лесов (код T3D) и представляют собой вечноzelёные редколесья с низкорослым подлеском и богатым травянистым ярусом на бедных щелочных почвах сухих каменистых местообитаний [Chytrý et al., 2020]. В верхнем поясе они сменяются мезофильными лиственными лесами союза *Paeonio dauricae-Quercion petraeae* Didukh 1996 (класса Carpino-Fagetea sylvatica Jakucs ex Passarge 1968), которые относятся к биотопу широколиственных лесов из граба и дуба (код T1E). На выходах скал отмечаются редколесья из сосны Палласа союза *Pinion pallasianae* Korzhenevsky 1998 (класса Erico-Pinetea Horvat 1959), они представляют биотоп умеренных и субсредиземноморских горных лесов с участием *Pinus sylvestris* и *Pinus nigra*.

К первой категории отнесены можжевеловые леса союза *Jasmino-Juniperion excelsae* и мезофильные лиственные леса союза *Paeonio dauricae-Quercion petraeae*, поскольку ими заняты значительные площади; ко второй — редколесья из сосны Палласа союза *Pinion pallasianae*, которые на территории заказника встречаются в виде изолированных небольших массивов, не образуя сплошного пояса растительности. Эталонные фитоценозы представлены главным образом на ненарушенных или слабо нарушенных участках, способны к самовосстановлению, их состояние лучше, чем на окружающих территориях. Эффективность заказника для сохранения этих сообществ составляет 100 %, за исключением можжевеловых редколесий, поскольку на некоторых участках отмечены изменения состава и структуры травяного покрова, различные повреждения деревьев, что также отмечается многими авторами [Тягнирядно, 2008; Архипова, Юнина, 2016]. Тем не менее в настоящее время во многих локалитетах наблюдаются природные восстановительные сукцессии.

Нарушенные и трансформированные биотопы на территории заказника представлены рекреационными полянами, дорогами, тропинками, пожарищами, местами рубок, что позволяет отнести их к первой категории [Стишов, 2012]. На момент исследования антропогенная нагрузка на них была снижена, поэтому дальнейшая деградация почвенно-растительного покрова или расширение их площадей не отмечены. Эффективность территории ООПТ для этого компонента составила 50 %, в связи с чем в целом природоохранная эффективность ГПЗ «Ласпи» в отношении эталонной функции снижена до 71 % (табл. 1).

Таблица 1

Текущая природоохранная эффективность ГПЗ «Ласпи»

Функции	r	d	V	C	I	F
Эталонная	2,8	2,2	33	3,3	25,0	71
Рефугиумная	1,5	1,3	43	4,0	39,5	86
Резерватная	1,0	1,0	29	4,0	29,0	100
«Монументальная»	2,0	1,7	11	3,3	17,0	83
Эколого-стабилизирующая	1,8	1,0	14	4,0	14,0	100
<i>Итоговое значение</i>	1,8	1,4	128	3,7	122,5	88

Примечание: r — средняя репрезентативность; d — средний контраст с окружением; V — суммарная природоохранная ценность; C — среднее текущее состояние; I — природоохранная значимость; F — природоохранная эффективность.

Рефугиумная функция. Для анализа рефугиумной функции ГПЗ «Ласпи» был составлен список из 112 охраняемых таксонов, из которых на федеральном уровне охраняется 47 [Красная книга … , 2018; Кукушкин и др., 2019; Красная книга … , 2021; Кадастровое дело … , 2022; Саркина, Мильчакова, Пономаренко, 2023; Бондарева и др., 2024; Красная книга … , 2024; Прокопенко и др., 2024]. Наиболее репрезентативна территория заказника для охраны сосудистых растений (51,7 % видов, занесённых в ККС), земноводных (100 %) и пресмыкающихся (50 %) (табл. 2). Однако ГПЗ «Ласпи» не играет ключевой роли для сохранения мировых популяций всех выявленных на его территории охраняемых видов флоры и фауны (табл. 3).

Таблица 2

Охраняемые виды флоры и фауны ГПЗ «Ласпи»

Группы видов	Уровень охраны	
	региональный*	федеральный**
Сосудистые растения	91	37
Грибы	1	1
Насекомые	13	3
Амфибии	2	1
Пресмыкающиеся	5	5

Примечание: * — ККС (2018); ** — КК РФ (2021, 2024).

Отнесённые к категории I сосудистые растения — эндемик России *Hedysarum candidum* и эндемичный крымский подвид *Pulsatilla halleri* subsp. *taurica* на территории ГПЗ «Ласпи» встречаются единично, поэтому заказник не имеет особого значения для их охраны (табл. 3). Существенную роль ООПТ играет для сохранения в пределах ареала на территории России популяций девяти видов и подвидов сосудистых растений и пяти видов животных (категории II). Это охраняемые на федеральном уровне виды с ареалами в России, ограниченные Крымом (*Arbutus andrachne*, *Paeonia daurica*, *Mediodactylus kotschyi danilewskii*, *Zamenis situla*) или Крымом и Кавказом (*Hesperis steveniana*, *Himantoglossum comperianum*, *Juniperus excelsa*, *Pinus pityusa*, *Pistacia atlantica*, *Pseudopus apodus*, *Triturus karelinii*) [Красная книга … , 2021; Красная книга … , 2024]. Также к этой категории отнесены стенотопные, редкие или обильные виды, занесённые в ККС из-за сокращения их численности в результате антропогенной деятельности: *Juniperus deltoides*, *Trachomitum venetum* subsp. *sarmatiense*, *Dilar turcicus* [Красная книга … , 2018].

Таблица 3

Характеристика природоохранной эффективности государственного природного заказника «Ласпи» для охраны редких таксонов и биотопов

Категория	Таксоны	r	d	V	C	I	F
объекты растительного мира							
I	<i>Pulsatilla halleri</i> (All.) Willd. subsp. <i>taurica</i> (Juz.) K. Krause *, ККС	1,0	1,0	2,0	4,0	2,0	100,0
I	<i>Hedysarum candidum</i> M. Bieb. **, ККРФ, ККС	1,0	1,0	2,0	4,0	2,0	100,0
II	<i>Arbutus andrachne</i> L. ККРФ, ККС	1,0	1,0	2,0	4,0	2,0	100,0
II	<i>Hesperis steveniana</i> DC. ККС	1,0	1,0	2,0	4,0	2,0	100,0
II	<i>Himantoglossum comperianum</i> (Steven) P. Delforge ККРФ, ККС	1,0	1,0	2,0	4,0	2,0	100,0
II	<i>Juniperus deltoides</i> R. P. Adams ККС	1,0	1,0	2,0	2,0	1,0	50,0
II	<i>Juniperus excelsa</i> M. Bieb. ККРФ, ККС	1,0	1,0	2,0	2,0	1,0	50,0
II	<i>Paeonia daurica</i> Andrews ККРФ, ККС	1,0	1,0	2,0	4,0	2,0	100,0
II	<i>Pinus pityusa</i> Steven ККРФ, ККС [<i>Pinus brutia</i> Ten. var. <i>pityusa</i> (Steven) Silba] ККРФ, ККС	1,0	1,0	2,0	4,0	2,0	100,0
II	<i>Pistacia atlantica</i> Desf. ККРФ, ККС	1,0	1,0	2,0	4,0	2,0	100,0
II	<i>Trachomitum venetum</i> (L.) Woodson subsp. <i>sarmatiense</i> (Woodson) Avetisjan ККС	1,0	1,0	2,0	2,0	1,0	50,0
объекты животного мира							
II	<i>Dilar turcicus</i> Hagen, 1858 ККС	1,0	1,0	2,0	4,0	2,0	100,0
II	<i>Mediodactylus kotschyi danilewskii</i> (Strauch, 1887) ККРФ, ККС	1,0	1,0	2,0	4,0	2,0	100,0
II	<i>Pseudopus apodus</i> (Pallas, 1775) ККРФ, ККС	1,0	1,0	2,0	4,0	2,0	100,0
II	<i>Triturus karelinii</i> (Strauch, 1870) ККРФ, ККС	1,0	1,0	2,0	4,0	2,0	100,0
II	<i>Zamenis situla</i> (Linnaeus, 1758) ККРФ, ККС	1,0	1,0	2,0	4,0	2,0	100,0
биотопы							
I	G1.Aa	2,0	2,0	4,0	4,0	4,0	100,0
I	G3.9b	1,0	1,0	2,0	2,0	1,0	50,0
I	G3.4b	1,0	1,0	2,0	4,0	2,0	100,0
	сумма	22	21	43	68	40	
	среднее	1,5	1,3		3,5		86

Примечание: r — репрезентативность; d — контраст с окружением; V — природоохранная ценность; С — текущее состояние; I — природоохранная значимость; F — природоохранная эффективность; * — эндемик Крыма; ** — эндемик России; ККРФ — вид занесен в КК РФ (2021, 2024); ККС — вид занесен в Красную книгу г. Севастополя (2018). Биотопы: G1.Aa — грабовые и дубовые мезофильные лиственные леса, G3.9b — средиземноморские можжевеловые леса, G3.4b — средиземноморские горные леса из сосны Палласа.

В целом заказник не является единственным местом обитания ни для одного вида в Крыму, он обеспечивает охрану части популяций редких видов, при исчезновении которых возможен ущерб разной степени тяжести в масштабах России. Оценка контраста с окружением показала, что ГПЗ «Ласпи» играет большую роль для сохранения редких, исчезающих и эндемичных таксонов всех выделенных групп, чем окружающие территории за границами заказника. Состояние популяций практически всех выделенных видов хорошее, но для трёх видов оно отличается от оптимального (табл. 3).

ГПЗ «Ласпи» также не является ключевым объектом для сохранения экосистем в мировом масштабе, однако преобладающие в его растительном покрове эталонные фитоценозы относятся к редким в России. Распространение сообществ союза *Elytrigio nodosae-Quercion pubescens*

ограничено Крымом и Кавказом, *Paeonia dauricae*-*Quercion petraeae* и *Pinion pallasiana* — только Крымом [Корженевский и др., 2003; Preislerová et al., 2022]. Соответствующие биотопы находятся под угрозой в Европе. В Европейский Красный список занесены средиземноморские леса из представителей Cupressaceae (код G3.9b), горные леса из *Pinus sylvestris*-*Pinus nigra* умеренного пояса и Средиземноморья (код G3.4b) и мезофильные лиственные леса из граба и дуба (код G1.Aa) [Chytrý et al., 2020]. Заказник играет существенную, но не исключительную роль для сохранения данного типа биотопов в Европе и в РФ, являясь одной из территорий их распространения в Крыму. Текущее состояние биотопов устойчиво при некоторой нарушенности травянистого покрова и древесного яруса для биотопов средиземноморских можжевелово-дубовых лесов (табл. 3). Эффективность ГПЗ «Ласпи» в отношении рефугиумной функции составляет 86 % (табл. 1).

Резерватная функция. На территории ГПЗ «Ласпи» распространены представители четырёх групп растений, имеющих утилитарную ценность, и четырёх групп охотничье-промышленных видов животных. Высоко обилие отдельных видов лекарственных (не менее 25 видов) и пищевых растений (10), а также разнообразие диких родичей культурных (23) и декоративных растений, подвергающихся активному сбору (3). В отличие от многих заказников, охотничье-промышленные виды животных в ГПЗ «Ласпи» малочисленны, представлены группами куриных (5 видов), копытных (4), мелких и средних хищников (4), грызунов и зайцеобразных (2), их крупные скопления в ООПТ отсутствуют [Ежегодный государственный … , 2025]. По сравнению с показателями резерватной функции других объектов, особенно зоологических заказников [Холденко, Гребенникова, 2019], охотничье-промышленные виды животных не вносят весомого вклада при оценке ГПЗ «Ласпи». Природоохранная эффективность в отношении всех групп хозяйствственно-ценных видов флоры и фауны максимальная (табл. 1). Однако, поскольку данные по видам, имеющим утилитарное значение, не полные, при проведении дальнейших мониторинговых исследований показатели природоохранной ценности и эффективности заказника в отношении функции их сохранения могут измениться.

«Монументальная» функция. Природные объекты ГПЗ «Ласпи» имеют выдающееся созологическое или научно-познавательное значение в масштабах страны [Вахрушев, 2008; Панкеева, Миронова, 2018]. К геологическим памятникам природы относятся оригинальные формы рельефа — известняковые смешённые массивы (Ильяс-Кая, Мачук и Чабан-Таш), которые подчёркивают уникальность и неповторимость ландшафта ЮБК. Их сохранение определяет значимость заказника в научно-познавательном или эстетическом отношении. Кроме того, на территории заказника отмечается массовое произрастание деревьев разных видов (*Juniperus excelsa*, *Pistacia atlantica*, *Quercus pubescens* Willd), возраст которых достигает 300–500 лет [Высокоможжевеловые леса … , 1992; Исков, Плугатарь, 2018]. Текущее состояние примечательных геолого-геоморфологических объектов не вызывает опасений, а сохранность отдельных старовозрастных деревьев находится под угрозой, поскольку многие из них произрастают в местах организованной и стихийной рекреации. Это снижает природоохранную эффективность ГПЗ «Ласпи» в отношении уникальных природных объектов и ландшафтов до 83 % (табл. 1).

Эколого-стабилизирующая функция. Природные комплексы ГПЗ «Ласпи» обеспечивают несколько видов экосистемных благ, включая смягчение последствий изменения климата, регулирование состава атмосферы и защиту берегов. Растительный покров обеспечивает воспроизводство ключевых и хозяйствственно-ценных видов, предотвращает эрозию и деградацию почв. Заказник вносит значительный вклад в стабилизацию экологической обстановки в окрестностях ООПТ и имеет средообразующее значение в пределах Крыма. В Ласпинской долине известно несколько источников пресных вод, но постоянные водотоки в заказнике отсутствуют, поверхностный сток связан с периодом выпадения осадков [Панкеева, Миронова, 2018], в связи с чем функция обеспечения запасов и качества воды значима только для ближайших окрестностей заказника. Текущее состояние природных объектов и комплексов, обуславливающих выполнение экосистемных услуг, оптимально.

В целом ГПЗ «Ласпи» реализует все пять природоохранных функций, его текущая природоохрannая эффективность составляет 88 %, максимальные значения отмечены для резерватной и эколого-стабилизирующей функций (табл. 1). Показатели репрезентативности выше среднего отмечены только для эталонной функции, контрастности с окружением — для «монументальной» и рефугиумной, природоохранной ценности — для эколого-стабилизирующей, резерватной и рефугиумной. Всё это свидетельствует о том, что для региона Севастополя и Крыма территория заказника является репрезентативным эталоном с высокими природоохранными характеристиками и в настоящее время в полной мере соответствует профилю ландшафтного (комплексного) объекта.

Выявлены причины неполноты природоохранной эффективности ГПЗ «Ласпи» для следующих составляющих: 1) чужеродных и синантропных видов; 2) чуждых сообществ и биотопов; 3) антропогенно нарушенных и трансформированных экосистем; 4) можжевеловых лесов союза *Jasmino-Juniperion excelsae*; 5) охраняемых видов сосудистых растений — *Juniperus excelsa*, *J. deltoides* и *Trachomitum venetum* subsp. *sarmatiense*; 6) биотопов средиземноморских можжевеловых лесов; 7) старовозрастных деревьев. Для всех проанализированных объектов отмечено влияние недостатков управления, а именно разрешённая и стихийная рекреационная деятельность, недостаточная эффективность режима охраны заказника, отсутствие научно обоснованных мероприятий по сохранению и восстановлению нарушенных природных комплексов. Кроме того, в полной мере не контролируется незаконное природопользование (застойка), пожары и локальные загрязнения, обустройство мест отдыха и пляжей в местах произрастания редких видов.

Причинами неполноты эффективности заказника по отношению к чуждым элементам являются культивирование растений в Крыму и близость селитебных зон, что, как известно, способствует появлению чужеродных представителей флоры и фауны, формированию сообществ и экосистем с их участием [Красная книга … , 2018; Кукушкин и др., 2019; Багрикова и др., 2021]. С другой стороны, фактором снижения эффективности выступают неустранимые недостатки планировки: до организации заказника на его территории (на месте естественных фитоценозов) были проведены обширные посадки лесных культур. Для охраняемых видов и биотопов средиземноморских можжевеловых лесов значение имеют непреодолимые природные воздействия (поражение вредителями и болезнями, конкуренция, изменение климата). К плохо контролируемым факторам относятся, например, стенотопность и природная редкость популяций *T. venetum* subsp. *sarmatiense* [Рыфф, 2018], влияние на процессы размножения *J. deltoides* и *J. excelsa* погодных условий и антропогенно обусловленного загрязнения воздуха [Корсакова, Саркина, Багрикова, 2019; Коренькова, 2023]. Причинами неполной реализации природоохранных задач ГПЗ «Ласпи» относительно старовозрастных деревьев являются обустройство рекреационных зон на местах их произрастания, а также отсутствие учёта и маркировки деревьев с целью профилактики нарушения природоохранного режима.

При устранении всех выявленных недостатков управления и отрицательного воздействия на природные комплексы природоохранная эффективность ГПЗ «Ласпи» возрастёт с 7 до 21 % и достигнет максимальных значений для эталонных систем, редких биотопов и старовозрастных деревьев.

Потенциальные угрозы и безопасность. На основании данных проведённых исследований [Оказание … , 2023] были оценены факторы негативного воздействия на территорию и природные комплексы ГПЗ «Ласпи», способные нанести ущерб охраняемым объектам в ближайшем будущем. В качестве потенциальных угроз выявлены шесть категорий антропогенных воздействий (табл. 4). Значимой является группа угроз, связанных с разрешёнными на ООПТ видами деятельности, оказывающими негативное воздействие на природные комплексы и объекты заказника [Морские … , 2015; Каширина, Панкеева, 2023]: развитие рекреации и туризма на протяжении

маршрута Большой Севастопольской тропы, прокладка троп, оборудование мест отдыха и пляжей. К ним также относятся санитарные рубки и лесомелиоративные мероприятия, которые воздействуют на многих представителей флоры и фауны [Красная книга … , 2018; Прокопенко и др., 2024]. Необходимо отметить, что спектр разрешённых видов деятельности в ГПЗ «Ласпи» [Кадастровое дело … , 2022] намного шире реализованных в настоящее время, что создаёт угрозы для его природных комплексов.

Самыми актуальными являются угрозы, связанные с незаконным природопользованием: хозяйственное освоение территории ГПЗ «Ласпи» с целью индивидуального жилищного строительства, обустройство и размещение элементов инфраструктуры, необходимой для функционирования объектов (прокладка сетей электроснабжения, водоснабжения, водоотведения, строительство автомобильных дорог), и иные нарушения природоохранного режима [Кадастровое дело … , 2022; Оказание … , 2023; Ежегодный государственный … , 2025]. К источникам внешнего негативного антропогенного загрязнения территории относятся прилегающие к границам ГПЗ «Ласпи» дороги и транспортная магистраль Севастополь — ЮБК, селитебные и рекреационные зоны. Неблагоприятные изменения гидрологического режима и пожары, возникающие по вине человека, также возможны в пределах этих же участков.

При этом все потенциальные угрозы антропогенного происхождения характеризуются локальным проявлением, разной силой воздействия и достаточно длительным периодом восстановления нарушенных природных комплексов. Относительная безопасность ГПЗ «Ласпи» от угроз антропогенного происхождения высока и составляет 92 %, все актуальные угрозы контролируемые и могут быть полностью устранены, в результате чего безопасность заказника повысится до 98 % (табл. 4).

Среди природных потенциальных угроз на территории ГПЗ «Ласпи» выделяются пять типов (табл. 4). К ним относятся: геологические явления и катастрофы — крупные обвалы и оползни; постепенные климатические изменения глобального характера; гидроклиматические явления, прежде всего аномальные засухи; естественные пожары грозового и прочего природного происхождения; биоценотические явления — вспышки численности отдельных видов, эпизоотии и эпифитотии естественного происхождения, конкуренция между аборигенными видами. Из природных угроз наиболее актуальными для ООПТ являются возможные геологические явления и катастрофы, по отношению к которым её безопасность может снизиться до 94 %. Текущая безопасность заказника в отношении природных угроз составляет 88 % и не может быть изменена из-за их неконтролируемости.

Поскольку суммарная актуальность антропогенных угроз незначительно превышает таковую природных угроз (табл. 4), они в настоящее время одинаково значимы для территории заказника. Антропогенные угрозы контролируются на местном и региональном уровнях, природные — не контролируются. В случае снижения влияния хозяйственной деятельности на заказник доля природных угроз, которые не поддаются контролю и устраниению, возрастёт.

Таблица 4
Оценка потенциальных угроз и безопасности государственного природного заказника «Ласпи»

Группы отрицательных факторов	Актуальность угроз		Относительная безопасность	
	текущая	минимизированная	текущая	потенциальная
антропогенные				
Внешние загрязнения	8	2	100	100
Внешние изменения гидрологического режима	1	0,25	100	100
Антропогенные пожары	36	9	98	99
Инвазии, эпизоотии и эпифитотии	12	3	99	100

Продолжение таблицы №4

Группы отрицательных факторов	Актуальность угроз		Относительная безопасность	
	текущая	минимизированная	текущая	потенциальная
Незаконное природопользование на ООПТ, нарушения природоохранного режима	48	12	97	99
Разрешённые на ООПТ виды деятельности	32	8	98	100
<i>В целом для антропогенных угроз</i>	137	34	92	98
природные				
Геологические явления и катастрофы	72	72	94	94
Изменения климата	18	18	99	99
Гидроклиматические явления и катастрофы	16	16	99	99
Естественные пожары	18	18	99	99
Биоценотические явления	24	24	98	98
<i>В целом для природных угроз</i>	148	148	88	88
<i>В целом для ООПТ</i>	285	182	92	94

Прогноз устойчивости к долговременным изменениям среды. Консервационная устойчивость ГПЗ «Ласпи» составляет 63 %, и в будущем она не изменится. Низкие значения текущей и потенциальной благоприятности географического положения определяются расположением заказника на крайнем юго-западе ЮБК и вблизи Чёрного моря. Благоприятным фактором устойчивости к долговременным изменениям среды является только нахождение его территории в пределах западного южнобережного средиземноморского климатического района [Важов, 1977].

Присущее территории заказника разнообразие реликтовой южнобережной растительности обеспечивает высокие показатели текущей динамической устойчивости и, соответственно, максимальной благоприятности для поддержания естественного хода процессов. Площадь ГПЗ «Ласпи» не является достаточной для обеспечения устойчивости климатических параметров при их изменении (50 %), однако оптимизация территориальной структуры в настоящее время невозможна. Ожидаемая относительная связность ниже текущей (50 %), то есть прогнозируется усиление изоляции заказника из-за дальнейшего хозяйственного освоения (прежде всего застройки) окружающих территорий, где сохраняются природные и квазиприродные комплексы. При этом не исключена возможность предотвращения негативных тенденций, например, посредством создания юридически закреплённого экологического каркаса [Мильчакова, Бондарева, Александров, 2022].

Устойчивость литогенной основы ландшафтов ГПЗ «Ласпи» к климатическим изменениям обеспечивает максимальную благоприятность территории в настоящем и будущем. Но под воздействием неконтролируемой хозяйственной деятельности при отсутствии каких-либо специальных природоохранных мер ожидаемая устойчивость ООПТ может быть снижена до 75 %.

Таким образом, показатель динамической устойчивости для территории ГПЗ «Ласпи» составляет 100 %, а аналогичный показатель консервационной устойчивости заметно снижен из-за физико-географических особенностей территории (69 %). В целом заказник обеспечивает естественность процессов трансформации природных комплексов под действием вероятных долговременных изменений среды и в случае возможных небольших флюктуаций может сохранить большинство природных комплексов в их современном или близком к таковому виде. Общий показатель устойчивости территории ООПТ к долговременным изменениям среды составляет 85 % и не может быть повышен ввиду отсутствия возможностей оптимизации, а в случае ухудшения условий способен снизиться до 75 % для динамической устойчивости и до 72 % — для общей устойчивости.

Природоохранная эффективность (итоги). ГПЗ «Ласпи» характеризуется неполной природоохранной эффективностью (88 %), которая в ближайшем будущем в неизменных условиях сохранится (табл. 5). Текущая безопасность заказника от потенциальных угроз невысока (91 %). Усиление режима охраны и устранение факторов, отрицательно влияющих на природные комплексы, приведёт к значительному повышению роли заказника в сохранении биологического и ландшафтного разнообразия (94 %) и его общей безопасности (94 %). Для ГПЗ «Ласпи» характерна неустойчивость к долговременным изменениям среды, в связи с чем при глобальном кризисе, в частности колебании климата, эффективность заказника может заметно снизиться (до 58 %).

Таблица 5

Природоохранная эффективность государственного природного заказника «Ласпи»

Составляющие перспективной эффективности	Значение		
	реализованное	ожидаемое	потенциальное
Текущая природоохранная эффективность, F	88	88	94
Безопасность, S	91	91	94
Устойчивость к долговременным изменениям среды, R	85	72	85
Перспективная эффективность в стабильных условиях, Es	80	80	88
Перспективная эффективность в условиях изменения среды, Ech	68	58	75

В целом текущая природоохранная эффективность ГПЗ «Ласпи» немного выше, чем у других заказников регионального значения, и приближается к уровню заповедников и национальных парков, по ряду параметров даже превосходя их [Стишов, 2012; Зубков и др., 2019; Петров, 2021; Холоденко, Гребенникова, 2019; Сергеева и др., 2023]. Все приведённые показатели могут измениться, поскольку инвентаризация биологического разнообразия этого объекта не завершена.

В итоге отметим, что расчёт эталонной функции ГПЗ «Ласпи» был выполнен с учётом анализа видового богатства не только сосудистых растений и позвоночных, но и беспозвоночных животных, что методикой не предусмотрено [Стишов, 2012]. При этом экологический мониторинг предполагает ведение наблюдений за всеми объектами животного и растительного мира [Стишов, Троицкая, 2025]. По нашему мнению, целесообразно включать в анализ в качестве отдельных составляющих и другие значимые группы, например мхи, лишайники, грибы, насекомых, что позволит лучше выявить природоохранную эффективность анализируемых объектов, особенно в Крыму.

Заключение

ГПЗ «Ласпи» является репрезентативным эталоном для региона Севастополя и Крыма, реализует весь спектр природоохранных функций (эталонную, рефугиумную, резерватную, «монументальную», эколого-стабилизирующую), что соответствует его ландшафтному природоохранному профилю. Текущая природоохранная эффективность заказника составляет 88 %. Неполная природоохранная эффективность ГПЗ «Ласпи» в ближайшем будущем в неизменных условиях сохранится, а при значимых долговременных изменениях природной среды она заметно снизится (до 58 %).

Основными причинами неполной реализации заказником природоохранных функций являются недостатки управления и нарушения природоохранного режима, что было выявлено в отношении чужеродных и синантропных видов, чуждых сообществ и экосистем, антропогенно нарушенных и трансформированных экосистем, можжевеловых лесов союза *Jasmino-Juniperion excelsae*, охраняемых видов сосудистых растений — *Juniperus excelsa*, *J. deltoides* и *Trachomitum venetum* subsp. *sarmatiense*, биотопов средиземноморских лесов из представителей Cupressaceae (код G3.9b) и старовозрастных деревьев.

В качестве потенциальных угроз для ГПЗ «Ласпи» определены шесть категорий антропогенных воздействий и пять природных, они в настоящее время одинаково значимы. К наиболее актуальным относятся угрозы, связанные с разрешёнными на ООПТ видами деятельности и незаконным природопользованием. При реализации возможных действий по охране заказника значения всех составляющих перспективности увеличивается.

ГПЗ «Ласпи» способен обеспечить естественность процессов в природных комплексах как в текущих условиях, так и при небольших климатических изменениях в будущем. Общий показатель устойчивости территории ООПТ к долговременным изменениям среды составляет 85 % и не может быть повышен из-за отсутствия возможностей оптимизации территории, а в случае ухудшения условий он снизится до 72 %.

Список литературы

1. Архипова Е. В., Юнина В. П. Оценка современного состояния лесных геосистем ООПТ и рекреационных зон окрестностей города Севастополя // Морские биологические исследования: достижения и перспективы : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. ... к 145-летию Севастоп. биол. станции (Севастополь, 19–24 сент. 2016 г.) / под общ. ред. А. В. Гаевской. – Севастополь : ЭКОСИ – Гидрофизика, 2016. – Т. 3. – С. 280–282. – <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/3310>
2. Багрикова Н. А., Плугатарь, Ю. В., Бондаренко, З. Д., Резников О. Н. Наиболее опасные инвазионные виды растений на особо охраняемых природных территориях Горного Крыма // Научные записки природного заповедника «Мыс Мартын». – 2021. – Вып. 12. – С. 114–148. – <http://doi.org/10.36305/2413-3019-2021-12-114-148>
3. Бескаравайный М. М., Гирагосов В. Е. Птицы Севастополя. – Москва : Тов-во науч. изд. КМК, 2023. – 180 с. – <https://www.elibrary.ru/jxiprov>
4. Бондарева Л. В., Александров В. В., Мильчакова Н. А., Кандаурова Д. А. Новые данные о распространении охраняемых видов сосудистых растений в государственном природном ландшафтном заказнике «Ласпи» (г. Севастополь) // Изучение водных и наземных экосистем: история и современность : III Междунар. науч.-практ. конф. ... с Рос. Федерацией, 2–7 сент. 2024 г., Севастополь / М-во науки и высш. образования РФ, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского РАН [и др.]. – Севастополь : ИнБЮМ, 2024. – С. 26–27. – <https://www.elibrary.ru/QHAILK>
5. Важсов В. И. Агроклиматическое районирование Крыма // Труды / Гос. Никит. ботан. сад. – Ялта : ГНБС, 1977. – Вып. 71. – С. 92–120.
6. Вахрушев И. Б. Сейсмодислокации Ласпи-Лименского района как объекты научного и познавательного туризма // Культура народов Причерноморья. – 2008. – № 125. – С. 7–10. – <https://elibrary.ru/nypoqx>
7. Высокоможжевеловые леса Крыма и проблемы их охраны / Гос. Никит. ботан. сад ; Молчанов Е. Ф., Григоров А. Н., Голубева И. В. [и др.]. – Москва, 1992. – 296 с. – Деп. в ВИНТИ 30.12.1992, № 3706-В92.
8. Голубев В. Н. Биологическая флора Крыма. – 2-е изд. – Ялта : Никит. ботан. сад, 1996. – 125 с. – <https://elibrary.ru/zrfrob>

9. Горбунов Р. В., Плугатарь Ю. В., Смирнов Д. Ю., Снегур А. В., Горбунова Т. Ю., Дрыгваль А. В., Приймак А. С. Пространственная взаимосвязь биоразнообразия и типов местообитаний на территории Крымского полуострова // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2019. – Вып. 133. – С. 224–240. – <http://doi.org/10.36305/0513-1634-2019-133-224-240>
10. Дудов С. В., Длизюрова В. Д., Дудова К. В., Бочарников М. В. Экосистемный подход в охране природы: мировой опыт и перспективы для России // Журнал общей биологии. – 2025. – Т. 86, № 2. – С. 83–99. – <http://doi.org/10.31857/S0044459625020013>
11. Ежегодный государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды города Севастополя за 2024 год / Правительство Севастополя. Департамент природ. ресурсов и экологии города Севастополя // Правительство Севастополя. – Севастополь, 2025. – URL: <https://spn.sev.gov.ru> (дата обращения: 28.10.2025).
12. Зубков В. А., Байтимирова Е. А., Тришевская А. В., Чупракова В. В. Оценка текущей природоохранной эффективности Кроноцкого заповедника // Международный студенческий научный вестник. – 2019. – № 1. – Ст. 108. – <https://elibrary.ru/yyjaeh>
13. Исиков В. П., Плугатарь Ю. В. Дикорастущие деревья и кустарники Крыма. – 2-е изд., перераб. и доп. – Симферополь : АРИАЛ, 2018. – 324 с. – <https://elibrary.ru/xtjjpg>
14. Кадастровое дело № 006 Государственный природный ландшафтный заказник регионального значения «Ласпи» / Правительство Севастополя. Департамент природ. ресурсов и экологии города Севастополя // Правительство Севастополя. – Севастополь, 2022. – URL: <https://spn.sev.gov.ru> (дата обращения: 28.10.2025).
15. Каталог-справочник мировой коллекции ВИР / ВАСХНИЛ, ВНИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова ; под ред. П. М. Жуковского. Дикие родичи культурных растений России / сост.: Т. Н. Сmekалова, И. Г. Чухина. – Санкт-Петербург: ВНИИ растениеводства, 2005. – 54 с. – (Каталог мировой коллекции ВИР ; вып. 766).
16. 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. – <http://doi.org/10.18384/2712-7621-2023-4-91-107>
17. Коренькова О. О. Некоторые особенности развития генеративной сферы *Juniperus deltoides* в Горном Крыму // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. – 2023. – № 22-1. – С. 179–183. – <https://doi.org/10.14258/pbssm.2023034>
18. Корженевский В. В., Багрикова Н. А., Рыфф Л. Э., Левон А. Ф. Продромус растительности Крыма (20 лет на платформе флористической классификации) // Бюллетень Главного ботанического сада. – 2003. – Вып. 186. – С. 32–63. – <https://elibrary.ru/ygngyv>
19. Корсакова С. П., Саркина И. С., Багрикова Н. А. Биология опыления *Juniperus excelsa* и *J. deltoides* (Cupressaceae) на Южном берегу Крыма // Ботанический журнал. – 2019. – Т. 104, № 10. – С. 1574–1587. – <https://doi.org/10.1134/S0006813619100077>
20. 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-ДОАФК, 2018. – 431 с.
21. Красная книга Российской Федерации. Животные / М-во природ. ресурсов и экологии РФ, Всерос. науч.-исслед. ин-т охраны окружающей среды, Ин-т пробл. экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН. – Москва : ВНИИЭкологии, 2021. – 1128 с.
22. Красная книга Российской Федерации. Растения и грибы / М-во природ. ресурсов и экологии РФ [и др.] ; отв. ред. Д. В. Гельтман. – 2-е офиц. изд. – Москва : ВНИИЭкологии, 2024. – 944 с.
23. Кукушкин О. В., Трофимов А. Г., Турбанов И. С., Слодкевич В. Я. Герпетофауна города Севастополь (Юго-Западный Крым): видовой состав, зоogeографическая характеристика, ландшафтно-зональное распределение, современное состояние и охрана // Трансформация экосистем. – 2019. – Т. 2, № 4. – С. 72–129. – <http://doi.org/10.23859/estr-190530>

24. Мильчакова Н. А., Бондарева Л. В., Александров В. В. Природные ядра регионального экологического каркаса г. Севастополя // Юг России: экология, развитие. – 2022. – Т. 17, № 2. – С. 102–114. – <http://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-2-102-114>
25. Морские охраняемые акватории Крыма : науч. справочник / под ред. Н. А. Мильчаковой ; Рос. акад. наук, Ин-т мор. биол. исслед. – Симферополь : Н. Оріанда, 2015. – 312 с.
26. Мухлынина М. М. Трансформация эколого-правовой политики в сфере особо охраняемых природных территорий // Аграрное и земельное право. – 2025. – № 5. – С. 106–109. – <https://elibrary.ru/laberp>
27. Оказание услуг по ведению мониторинга редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных, растений и грибов, занесенных в Красную книгу города Севастополя, в границах государственных природных ландшафтных заказников регионального значения «Ласпи» и «Мыс Айя» (кв. 54, 67 Чернореченского участкового лесничества, кв. 9 Орлиновского участкового лесничества, акватория) : отчет о НИР (заключ.) / Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского РАН ; рук. Мильчакова Н. А. – Севастополь, 2023. – 523 с.
28. Панкеева Т. В., Миронова Н. В. Организация и оптимизация территориальной структуры природного заказника «Ласпи» (г. Севастополь) // Биота и среда заповедных территорий. – 2018. – № 4. – С. 124–139. – <https://elibrary.ru/vvmlq1>
29. Петров Ю. В. Оценка природоохранной ценности, значимости и эффективности особо охраняемой природной территории «Карташовский бор» в Тюменской области // Известия Уральского государственного горного университета. – 2021. – Вып. 2. – С. 167–177. – <http://doi.org/10.21440/2307-2091-2021-2-167-177>
30. Прокопенко Е. В. Пауки (Aranei) города Севастополя // Экосистемы. – 2024. – № 37. – С. 53–64. – <http://doi.org/10.29039/2413-1733-2024-37-53-64>
31. Прокопенко Е. В., Амолин А. В., Мильчакова Н. А., Савченко Е. Ю. Результаты мониторинга редких и охраняемых видов насекомых (Arthropoda: Insecta) в государственных природных ландшафтных заказниках города Севастополя // Экосистемы. – 2024. – № 37. – С. 17–29. – <http://doi.org/10.29039/2413-1733-2024-37-17-29>
32. Розломий Н. Г. Природоохранная ценность, значимость и эффективность Большехехцирского государственного природного биосферного заповедника, Хабаровский край // Аграрный вестник Приморья. – 2024. – № 1. – С. 70–74. – <https://www.elibrary.ru/dxqqqlv>
33. Рыфф Л. Э. *Roasupum armenum* (Pobed.) Mavrodiev, Laktionov et Yu.E.Alexeev (Arosaceae) в Юго-Западном Крыму // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2018. – Вып. 127. – С. 78–87. – <http://doi.org/10.25684/NBG.boolt.127.2018.10>
34. Саркина И. С., Мильчакова Н. А., Пономаренко Е. С. Редкие виды макромицетов государственных природных ландшафтных заказников города Севастополя // Научные записки природного заповедника «Мыс Мартын». – 2023. – Вып. 14. – С. 262–268. – <https://elibrary.ru/oyeqfr>
35. Сергеева И. В., Мохонько Ю. М., Гусакова Н. Н., Андриянова Ю. М. Оценка природоохранной эффективности национального парка «Хвалынский» Саратовской области // Региональные геосистемы. – 2023. – Т. 47, № 2. – С. 238–251. – <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-2-238-251>
36. Стишов М. С. Методика оценки природоохранной эффективности особо охраняемых природных территорий и их региональных систем. – Москва : WWF России, 2012. – 284 с.
37. Стишов М. С., Троицкая Н. И. Организация экологического мониторинга на особо охраняемых природных территориях : метод. рекомендации. – Москва : [б. и.], 2025. – 140 с.
38. Тягнирядно В. В. Оценка рекреационной нарушенности травяного покрова высокоможжевеловых лесов западной части Южного берега Крыма // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2008. – Вып. 96. – С. 29–35. – <https://elibrary.ru/ulgjmb>

39. Холоденко А. В., Гребенникова А. В. Перспективы повышения природоохранной эффективности государственных природных заказников Волгоградской области // Природные системы и ресурсы. – 2019. – Т. 9. № 1. – С. 56–62. – <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2019.1.7>
40. Chytrý M., Řezníčková M., Novotný P. [et al.]. FloraVeg.EU – an online database of European vegetation, habitats and flora // Applied Vegetation Science – 2024. – Vol. 27. – Art. e12798. – <https://doi.org/10.1111/avsc.12798>
41. Chytrý M., Tichý L., Hennekens S. M. [et al.]. EUNIS Habitat Classification: expert system, characteristic species combinations and distribution maps of European habitats // Applied Vegetation Science. – 2020. – Vol. 23. – P. 648–675. – <https://doi.org/10.1111/avsc.12519>
42. POWO. Plant of the World On-line. – URL: <https://powo.science.kew.org/> (accessed: 28.10.2025).
43. Preislerová Z., Jiménez-Alfaro B., Muchina L. [et al.]. Distribution maps of vegetation alliances in Europe // Applied Vegetation Science. – 2022. – Vol. 25. – Art. e12642. – <https://doi.org/10.1111/avsc.12642>

ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF THE STATE NATURE RESERVE «LASPI» (SEVASTOPOL) Bondareva L. V.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,
e-mail: lbondareva@ibss-ras.ru

Abstract: Based on data from comprehensive studies and analysis of literature sources, in accordance with the methodology «Assessment of the Environmental Protection Effectiveness of Protected Areas and Their Regional Systems» the State Nature Reserve «Laspi» has been characterized. It has been shown that the reserve performs five environmental protection functions, and its current environmental protection effectiveness is 88 %, which is determined by low values for the reference (71 %), refugium (86 %), and «monumental» (83 %) components. The State Nature Reserve «Laspi» is also not a key site for the conservation of rare protected species and habitats on a global scale, but it plays a significant role in Russia in preserving populations of nine species and subspecies of vascular plants, five species of animals (category II), and three habitats. The causes of the incomplete environmental protection effectiveness of the reserve for alien and synanthropic species; alien communities and habitats; anthropogenically disturbed and transformed ecosystems; juniper forests of the *Jasmino-Juniperion excelsae*; protected species of vascular plants – *Juniperus excelsa*, *J. deltoides* и *Trachomitum venetum* subsp. *sarmatiense*; Mediterranean Cupressaceae forest habitats; and old-growth trees have been identified. For all analyzed objects, a strong influence of management deficiencies and illegal natural resource use has been noted. If all possible measures for the conservation and optimization of the State Nature Reserve «Laspi» are implemented, the values of all components of prospective effectiveness will increase. Potential threats to the reserve include six categories of anthropogenic and five of natural impacts, with the most relevant being the threat groups associated with violations of the environmental protection regime and permitted types of activities. The overall stability indicator of the protected natural areas to long-term environmental changes is 85 %, and it will decrease to 72 % in case of deteriorating conditions. Overall, the State Nature Reserve «Laspi» is a representative benchmark for the city of Sevastopol and the Crimean Peninsula and corresponds to the conservation profile of the landscape reserve.

Keywords: environmental value, protected areas, nature conservation, Red Book, habitats, Crimea

Сведения об авторе

Бондарева
Лилия
Викторовна

старший научный сотрудник, кандидат биологических наук, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация, e-mail: lbondareva@ibss-ras.ru

Поступила в редакцию 10.10.2025
Принята к публикации 05.12.2025

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЭКСТРЕМУМОВ ВО ВЬЕТНАМЕ В НАЧАЛЕ ХХI ВЕКА *

Вышкваркова Е. В.¹, Линева Н. П.¹, Горбунов Р. В.¹, Кузнецов А. Н.²,
Кузнецова С. П.², Нгуен Д. Х.²

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

²Совместный Российско-Вьетнамский научно-исследовательский и технологический центр,
г. Ханой, Социалистическая Республика Вьетнам,
e-mail: gorbunov@ibss-ras.ru

Аннотация: В статье представлен комплексный анализ пространственно-временной изменчивости температурного режима и режима осадков на территории Вьетнама за период 1991–2024 гг. с использованием ряда климатических индексов. Установлено, что среднегодовые температуры демонстрируют статистически значимый рост с максимальной интенсивностью потепления до 0,6 °C/10 лет в центральных регионах. Выявлен рост минимальных температур (до 0,4 °C/10 лет) и значительное увеличение количества тропических ночей (индекс TR), особенно в горных районах (до +30 дней/10 лет). Индекс абсолютных годовых максимумов (TXx) показывает резкое повышение (до +1,5 °C/10 лет) в центральных и северных регионах. Наибольший рост количества жарких дней (SU35, Tmax > 35 °C) обнаружен в северной и центральной частях Вьетнама (до +25 дней/10 лет). Анализ осадков выявил положительные и статистически значимые тренды годовых сумм осадков, особенно на наветренных склонах хребта Чыонгшон (до 70 мм/год). Наблюдаются увеличение числа дней с сильными (R10mm) и очень сильными (R20mm) осадками, а также рост индекса интенсивности осадков (SDII) в центральной части страны. Это указывает на интенсификацию экстремальных ливневых явлений. Результаты свидетельствуют о значительной трансформации климата Вьетнама, характеризующейся усилением гидрологического цикла и потеплением, что создает новые риски, связанные с тепловым стрессом и экстремальными осадками.

Ключевые слова: изменение климата, Вьетнам, температурные индексы, экстремальные осадки, тренды, потепление, климатические индексы, муссон

Введение

Климатическая система Земли претерпевает значительные изменения, обусловленные антропогенным усилением парникового эффекта [IPCC, 2021]. Глобальное повышение приземной температуры воздуха сопровождается ростом частоты и интенсивности экстремальных погодных и климатических явлений, что представляет серьёзную угрозу для устойчивого развития общества и стабильности природных экосистем [IPCC, 2021]. Особую уязвимость к воздействию изменчивости и изменения климата проявляют страны Юго-Восточной Азии, экономика и благополучие населения которых в значительной степени зависят от сельского хозяйства, водных ресурсов и хозяйственной деятельности на прибрежных территориях [MONRE, 2021]. Известно, что для тропической зоны, где находятся центры мирового биоразнообразия и вместе с тем

*Работа выполнена в рамках темы «Изучение особенностей функционирования и динамики ландшафтов Центрального и Южного Вьетнама в условиях антропогенной нагрузки и изменения климата для создания научных основ их рационального использования» Совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра и государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Изучение особенностей функционирования и динамики субтропических и тропических прибрежных экосистем в условиях изменения климата и антропогенной нагрузки с использованием методов дистанционных исследований, технологий облачной обработки информации и машинного обучения для создания научных основ их рационального использования», регистрационный номер: 124030100030-0.

проживает около 40 % населения Земли, темпы потепления в целом ниже, чем в более высоких широтах [Mahlstein et al., 2011; Post et al., 2019], но последствия антропогенных изменений проявляются раньше, учитывая более слабую межгодовую изменчивость в тропиках.

Вьетнам, расположенный в области муссонного климата тропиков, характеризуется сложным рельефом и протяжённой береговой линией, что обуславливает высокое пространственное разнообразие климатических условий. Климатический режим страны формируется под влиянием северо-восточного и юго-западного муссонов, что приводит к выраженной сезонности с чередованием влажного и сухого сезонов [Nguyen, Renwick, McGregor, 2014]. Территория Вьетнама традиционно подвержена таким опасным явлениям, как наводнения, засухи и тропические циклоны, ущерб от которых может усугубляться на фоне наблюдаемых климатических изменений [Huong, Pathirana, 2013; Hallegatte et al., 2013; Trinh, 2018; Ha et al., 2024; Sun et al., 2024]. Вьетнам входит в число стран, серьёзно пострадавших от изменения климата [Phan, Ngo-Duc, Ho, 2009].

В последние десятилетия во Вьетнаме, как и во всем мире, отмечается тенденция к потеплению. Однако региональные проявления глобального изменения климата имеют свои особенности, обусловленные местными физико-географическими факторами [Nguyen, Renwick, McGregor, 2014]. Для Вьетнама, по прогнозам, изменение климата приведёт к увеличению частоты стихийных бедствий и периодов экстремальной жары, из-за повышения уровня моря может пострадать значительная доля населения прибрежных провинций и дельт рек [Wassmann et al., 2004; Tran et al., 2016; Vu, Yamada, Ishidaira, 2018; Espagne et al., 2021].

Для разработки эффективных стратегий адаптации и планирования устойчивого развития критически важно иметь детальную оценку не только изменений средних климатических характеристик, но и, в первую очередь, динамики климатических экстремумов, которые наносят наибольший социально-экономический ущерб. Несмотря на ряд исследований, посвящённых климату Вьетнама [Nguyen et al., 2017; Do et al., 2020; Bui, Awange, Vu, 2022], сохраняется потребность в актуальном комплексном анализе, охватывающем как термический режим, так и режим осадков, с акцентом на экстремальные индексы за максимально возможный период наблюдений.

Цель данной работы — оценка пространственно-временной изменчивости средней, максимальной и минимальной температуры воздуха, а также количества и интенсивности осадков на территории Вьетнама за период 1991–2024 гг.

Материал и методы

Территория исследований. Вьетнам расположен в восточной части полуострова Индокитай. Граничит с Китаем, Лаосом и Камбоджей. Большую часть (свыше 80 %) территории страны, главным образом на севере, северо-западе и в центральных районах, занимают низкие и средневысотные горы (рис. 1а). На севере преобладают параллельные глыбово-складчатые хребты юго-восточного простирания, в том числе хребет Хоангльеншон (высота до 3143 м, гора Фаншипан — высшая точка Вьетнама), разделённые узкими и глубокими продольными долинами. Вдоль западной границы на расстояние около 1200 км простирается горный массив Чыонгшон (высота до 2598 м, вершина Нгоклинь). В центральной и южной частях страны сформировались цокольные и базальтовые плато — Плейку, Даклак, Ламвьен, Зилинь, Центральное плато. Вдоль низменных слабоизрезанных берегов залива Бакбо (Тонкинский залив) и Южно-Китайского (Восточного) моря узкой полосой протягиваются аккумулятивные приморские равнины [Nguyen, 1995; Le, 1997].

Вытянутость в меридиональном направлении, расположение в Юго-Восточной Азии и сложная топография обуславливают ярко выраженные различия в режиме осадков. Для Вьетнама характерен тропический муссонный климат с сезонным изменением атмосферной циркуляции и количества осадков, связанным с температурным контрастом между востоком и западом или сушей и морем [Nguyen, Renwick, McGregor, 2014]. С учётом продолжительности сезонов дождей (трёх месяцев с наибольшим количеством осадков), температуры и разницы в интенсивности солнечной радиации [Nguyen D., Nguyen T., 2004], на территории Вьетнама выделено семь субрегионов: Северо-Западный (S1), Северо-Восточный (S2), Северная Дельта (S3), Северо-Центральный (S4), Южно-Центральный (S5), Центрально-Нагорный (S6) и Юго-Восточный (S7) (рис. 1б).

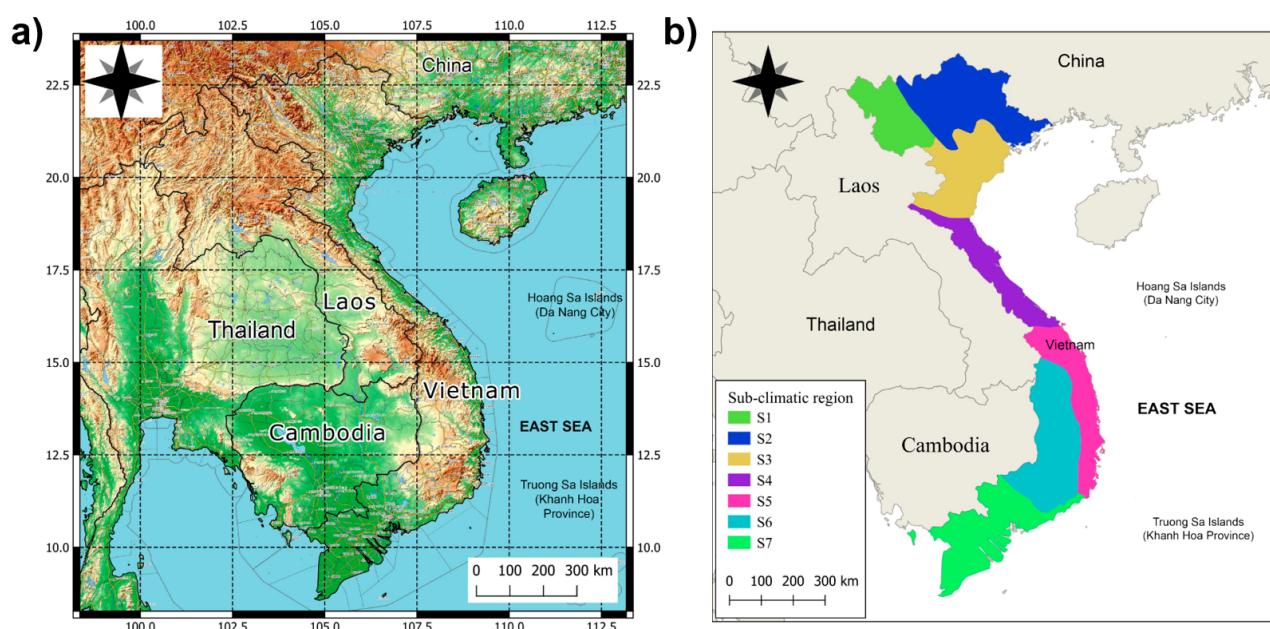


Рис. 1. Исследуемый регион (а) и карта субрегионов (б)

Данные и методы. Анализ температурного режима проведён с использованием данных реанализа ERA5 [Hersbach et al., 2020], а именно средней, минимальной и максимальной температуры воздуха за период 1991–2024 гг., с пространственным разрешением $0,25^\circ \times 0,25^\circ$. ERA5 представляет собой продукт пятого поколения для атмосферного реанализа, разработанный Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF), с временным охватом с 1940 г. по настоящее время (восемь десятилетий непрерывных данных). Реанализ ERA5 использует усовершенствованную схему усвоения данных (IFS Cycle 41r2) с улучшенной параметризацией конвективных процессов и микрофизики облаков. Свободный доступ к данным обеспечивает хранилище климатических данных Copernicus [Climate reanalysis].

Тенденции динамики выпадения осадков и их экстремумов рассчитаны по спутниковым данным CHIRPS (Climate Hazard Group InfraRed Precipitation with Stations version 2) за период 1991–2024 гг. CHIRPS представляет собой квазиглобальный (от 50° ю. ш. до 50° с. ш. и всех долгот) источник данных об осадках с сеткой и пространственным разрешением 0,05 (5 км) в ежедневных и ежемесячных временных масштабах [Funk et al., 2015]. Данные CHIRPS используются для Азиатского региона, включая территорию Вьетнама [например, Bui, Awange, Vu, 2022; Tran T. N. D. et al., 2023].

Температурные экстремумы оценены с помощью индексов TXx (максимальные величины максимальной температуры воздуха) и TNn (минимальные значения минимальной температуры воздуха). Эти индексы позволяют оценить диапазон и экстремальность ночных и дневных температур. По минимальной температуре оценены тенденции «тропических ночей» (TR — tropical nights), рассчитывающиеся как количество дней с минимальной температурой воздуха выше 20 °C. Количество жарких дней (индекс SU35) оценивается по максимальной температуре воздуха: годовое количество осадков с максимальной температурой воздуха выше 35 °C. Температурный порог в 35 °C выбран в соответствии с его влиянием на здоровье человека [Ho et al., 2011].

Оценки режима осадков проведены на основе динамики среднегодовых сумм осадков за исследуемый период, а также среднемесячных значений. Экстремальные осадки анализировались по количеству дней с осадками выше 1 мм (индекс R1), числу дней с сильными и очень сильными осадками (выше 10 и 20 мм в сутки, индексы R10mm и R20mm), а также оценена интенсивность осадков (отношение общего количества осадков к количеству дождливых дней, индекс SDII).

Описанные индексы экстремальных температур и осадков взяты из перечня индексов экспертной группы CCI/CLIVAR Expert Team for Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) for climate change assessment [Peterson et al., 2001; Zhang et al., 2011]. Линейные тренды рассчитаны по методу наименьших квадратов, статистическая значимость оценена по t-критерию ($p < 0,05$).

Результаты исследований

Анализ средней температуры воздуха. Средняя температура воздуха за период 1991–2024 гг. на территории Вьетнама изменяется от 18 до 30 °C (рис. 2). Наименьшие значения приурочены к высокогорным районам, в частности к хребту Хоангльеншон на северо-западе, массиву Нгоклинь и горам Чыонгшон в центральной части страны. Максимальные значения средней температуры воздуха (до 30 °C) обнаружены на юге Вьетнама, в дельте реки Меконг. Для летнего периода использованы месяцы с мая по август (MJJA), а для зимнего — с декабря по март (DJFM) [как показано в работе Nguyen, Renwick, McGregor, 2014]. В летний период температура воздуха варьируется в пределах 21–31 °C. Наибольшая температура (свыше 30 °C) наблюдается в дельте реки Хонгха, на побережье залива Бакбо и вдоль восточного побережья. В зимние месяцы средняя температура воздуха изменяется в более широких пределах: от 12–13 °C на севере Вьетнама до 28–29 °C на юге. В среднем для года (для летнего и зимнего периодов) характерна положительная тенденция температуры воздуха. Для среднегодовых и летних температур тренды статистически значимы на всей территории Вьетнама с максимальной величиной потепления до 0,6 °C/10 лет в центральной части страны (Северо-Центральный субрегион). В зимний период тренд также положительный, однако статистически значимые области приурочены к южным районам (скорость роста температуры не превышает 0,4 °C/10 лет).

Изменение минимальных температур воздуха. Минимальные температуры воздуха на территории Вьетнама за период 1991–2024 гг. варьируются в пределах 15–27 °C (рис. 3). Наибольшие значения минимальных температур отмечены на побережье и на юге страны, в то время как минимальные — приурочены к высокогорным районам на севере и в центральном районе. На всей территории Вьетнама выявлен рост минимальных температур и при этом с наибольшей скоростью (до 0,4 °C за 10 лет) — на восточном побережье центральной части страны (Северо-Центральный субрегион). Оценка минимальных температур воздуха проведена с использованием индекса TNn, показывающего экстремальность ночных температур, и индекса TR, который

отражает количество тропических ночей, когда минимальная температура воздуха не опускается ниже +20 °C. Индекс TNn изменяется в пределах от 2 до 23 °C с ростом в южном направлении. Индекс TNn характеризуется ростом практически на всей территории Вьетнама, за исключением северных районов, что свидетельствует об исчезновении даже условно «прохладных» ночей. Индекс TR имеет наибольшие значения на юге страны (до 365 дней в году), а наименьшие значения (около 10 дней за год) — в районах, примыкающих к вершинам гор.

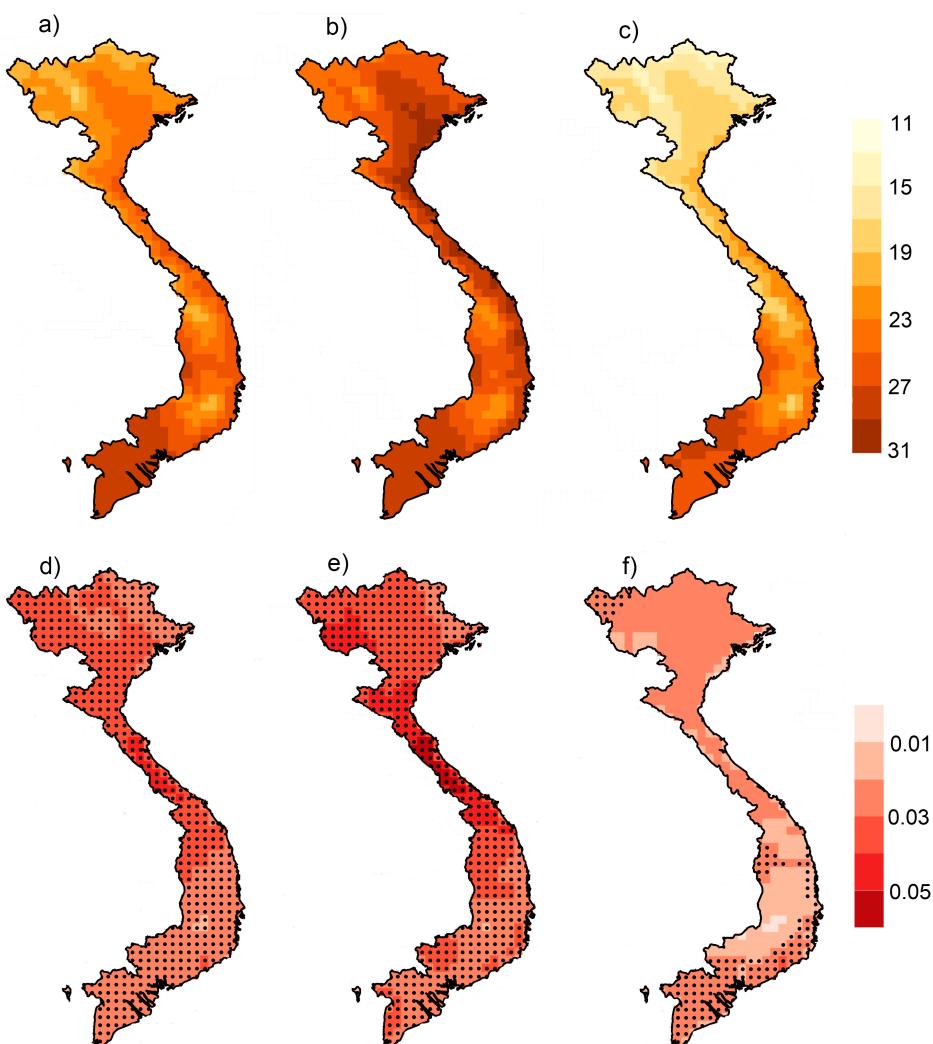


Рис. 2. Среднегодовая температура воздуха (а), средняя температура воздуха в летний (MJJA) (б) и зимний периоды (DJFM) (с) и тренды в °C/год (д–ф соответственно). Чёрные точки соответствуют статистически значимым трендам ($p < 0,05$)

Именно на этих участках обнаружен наибольший и статистически значимый тренд (до +30 дней/10 лет). При этом территория Вьетнама демонстрирует положительный и преимущественно статистически значимый тренд тропических ночей за период 1991–2024 гг.

Тенденции максимальных температур воздуха. Максимальные температуры воздуха, аналогично средним и минимальным температурам, за 1991–2024 гг. демонстрируют положительный тренд на всей территории Вьетнама (рис. 4). Значения максимальных температур изменяются от 21 до 31 °C с максимальными величинами на юге страны (Юго-Восточный субрегион). Наименьшие значения отмечаются в высокогорных районах.

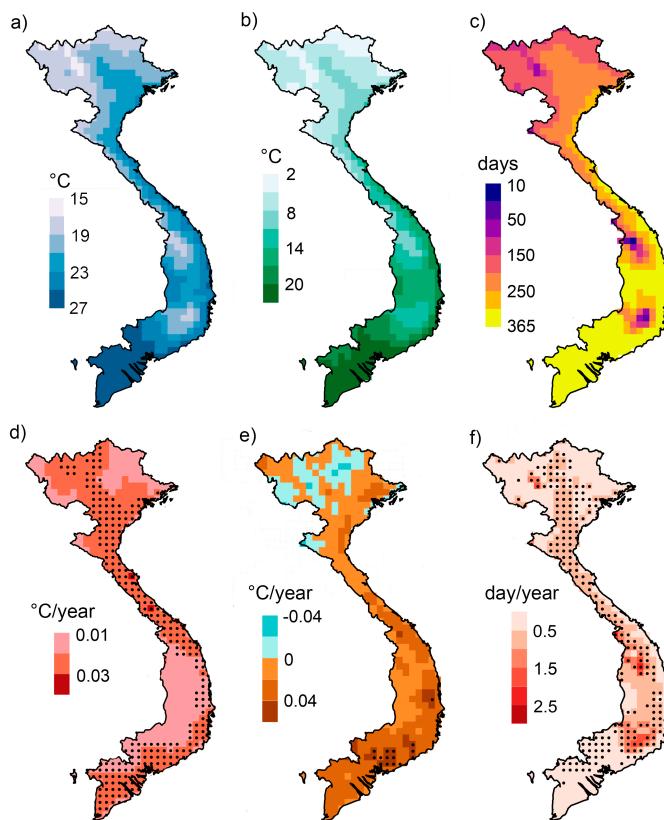


Рис. 3. Пространственные карты минимальной температуры воздуха (а), индекса TNn (минимум минимальной температуры) (б), индекса TR (тропические ночи) (с) и их тренды (д–ф соответственно) за 1991–2024 гг.

Индекс TXx, который отражает абсолютные экстремумы дневных температур за год и является маркером усиления жары, также демонстрирует положительные тенденции, особенно выраженные в центральных и северных районах страны (рост до +1,5 °C/10 лет). По значениям максимальной температуры воздуха оценено количество жарких дней (SU35), то есть количество дней с температурой воздуха выше 35 °C. Для большинства районов Вьетнама количество жарких дней не превышает 10 в год, на побережье залива Бакбо, а также в южных районах, на границе с Камбоджей, количество дней с температурой выше 35 °C достигает 60 в год. Тренды индекса SU35 преимущественно положительные, за исключением южных регионов. Статистически значимый рост количества жарких дней обнаружен в северной и центральной частях страны (до +25 дней/10 лет).

Изменение режима осадков. Годовое количество осадков на территории Вьетнама варьируется в пределах 1000–3500 мм за период 1991–2024 гг. (рис. 5а). Наибольшее количество осадков выпадает на склонах хребта Чыонгшон (свыше 3500 мм в год). На севере страны, в районе дельты Красной реки, осадков выпадает немногим более 2000 мм. Для годовых сумм осадков характерен положительный тренд практически на всей территории страны, особенно выраженный в областях максимальных сумм осадков (склоны хребтов массива Чыонгшон), где рост осадков достигает 70 мм/год (рис. 5б). Области со статистически значимым ростом осадков обнаружены на побережье залива Бакбо, в долине Красной реки, и на юге Вьетнама. В центральной части, на территории цокольных и базальтовых плато (Центральное плато, Ламвьен, Зилинь), за период 1991–2024 гг. получены слабые отрицательные тенденции осадков (до –10 мм/год), однако статистически незначимые.

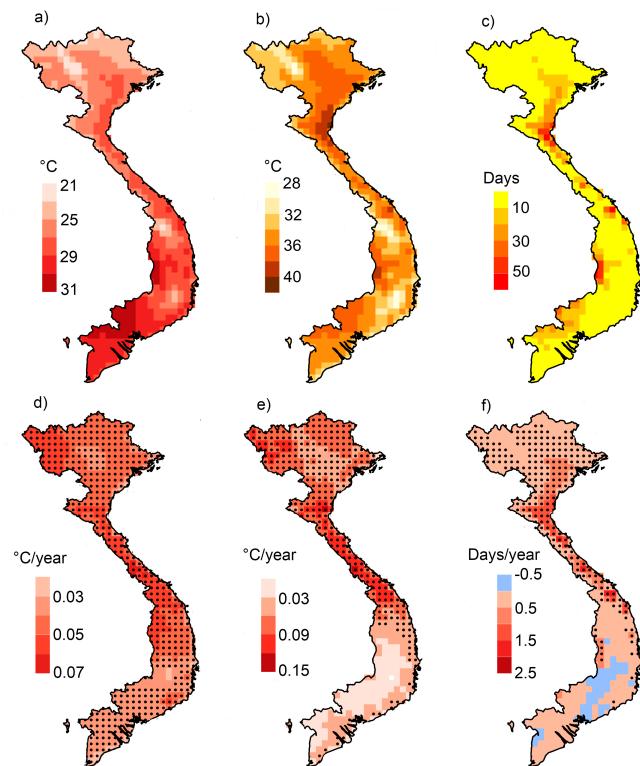


Рис. 4. Пространственные карты максимальной температуры воздуха (а), индекса TXx (максимум максимальной температуры) (б), индекса SU35 (жаркие ночи) (с) и их тренды (д–ф соответственно) за 1991–2024 гг.

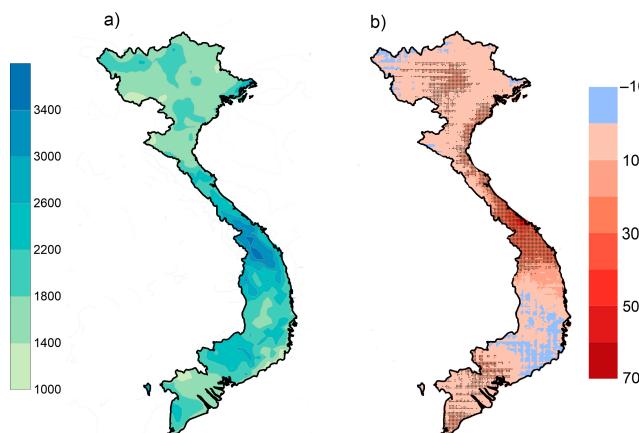


Рис. 5. Среднегодовое количество осадков (а) и тренды (б). Чёрные точки соответствуют статистически значимым трендам ($p < 0,05$)

Режим выпадения осадков значительно изменяется по территории. Так, с января по март на всей территории Вьетнама выпадает незначительное количество осадков — не более 100 мм (рис. 6). В апреле в Северо-Западном и Центрально-Нагорном субрегионах появляются очаги с количеством осадков до 200 мм. С мая на всей территории страны начинается сезон дождей, особенно выраженный в Центрально-Нагорном субрегионе и в Северной Дельте. В июне усиливается контраст между субрегионами: Северо-Центральный субрегион получает меньше осадков, тогда как среднее количество осадков в Северо-Восточном, Центрально-Нагорном и Юго-Восточном

субрегионах достигает 400 мм. В июле и августе наблюдается пик осадков на севере страны и склонах горного массива Чыонгшон (до 750 мм). С сентября на севере Вьетнама начинается завершение сезона дождей. В центральной части и на юге в это время сезон дождей продолжается. В октябре на побережье Южно-Китайского моря, на границе Северо-Центрального и Южно-Центрального субрегионов, выпадает максимальное количество осадков — до 850 мм. На юге также продолжается сезон дождей. В ноябре сохраняется область высокого количества осадков в центральной части, но уже с меньшими величинами. Северные районы страны в ноябре — декабре находятся в сухих условиях. В декабре только центральные прибрежные районы Вьетнама получают свыше 300 мм осадков. Полученные результаты подтверждают различия в длительности сезона дождей для северных и южных регионов и времени (в месяце) его начала и окончания. На севере сезон дождей начинается раньше (в апреле/мае) и заканчивается в сентябре — начале октября. Юго-западный муссон обуславливает наибольшее количество осадков по всей стране в июле — августе [Dippner et al., 2007]. Межмуссонный период (с декабря по март) является самым сухим в году.

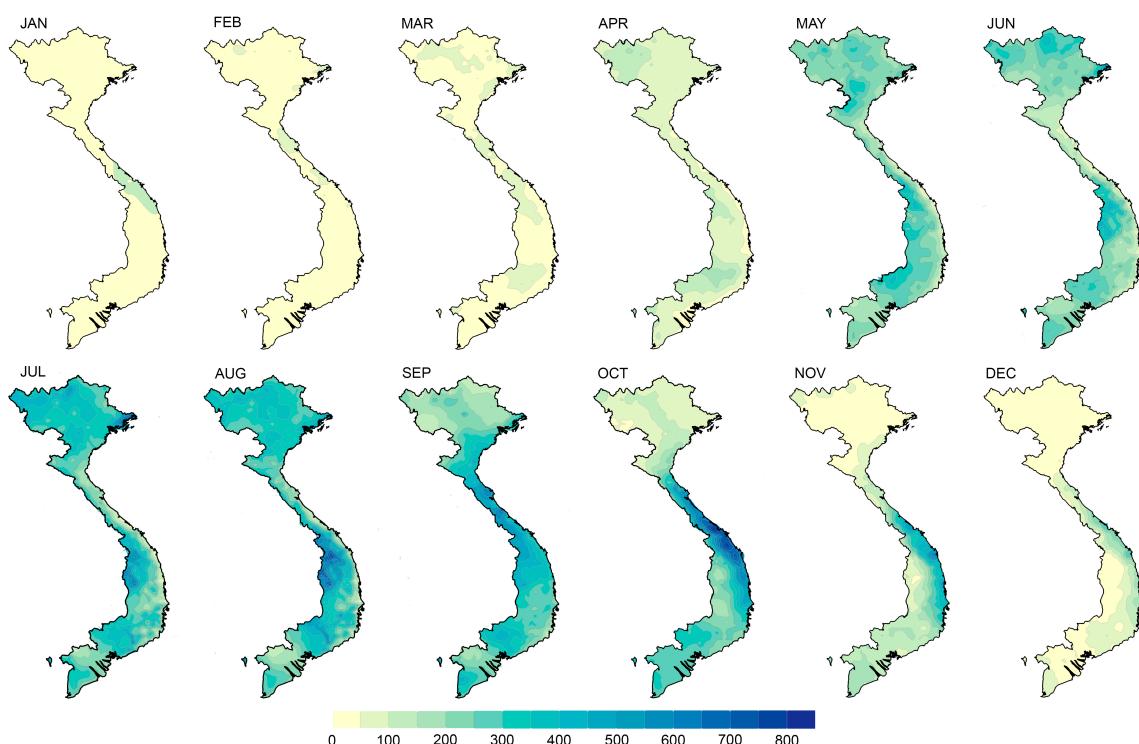


Рис. 6. Среднемесячные суммы осадков за 1991–2024 гг.

Пространственные карты индексов экстремальных осадков приведены на рисунке 7. Количество дождливых дней ($R1$) увеличивается в южном направлении от 70 дней в году до 170. Для всей территории Вьетнама характерен рост количества дождливых дней, особенно выраженный на севере и на юге, рост составил 15 дней/10 лет. Количество дней с сильными и очень сильными осадками ($R10mm$ и $R20mm$) имеют схожее пространственное распределение по территории Вьетнама — наибольшее количество дней с осадками выше 10 и 20 мм отмечено в центральных и южных районах. Рост (до 15 дней за 10 лет) количества дней с сильными и очень сильными осадками наблюдается почти по всей территории страны. Интенсивность осадков (индекс SDII) изменяется от 5 до 35 мм/день. Наибольшие значения интенсивности осадков зафиксированы на склонах хребтов массива Чыонгшон в центральной части Вьетнама и на севере, в высокогорном районе. Минимальные значения интенсивности осадков приурочены к областям с наибольшим

количеством дождливых дней, а именно к району дельты реки Меконг на границе с Камбоджей. Это свидетельствует о достаточно равномерном распределении осадков в этой части страны. Интенсивность осадков характеризуется положительными и статистически значимыми трендами в центре Вьетнама. Однако в районах плато Ламвьен, Зилинь и Центрального плато отмечается уменьшение интенсивности осадков.

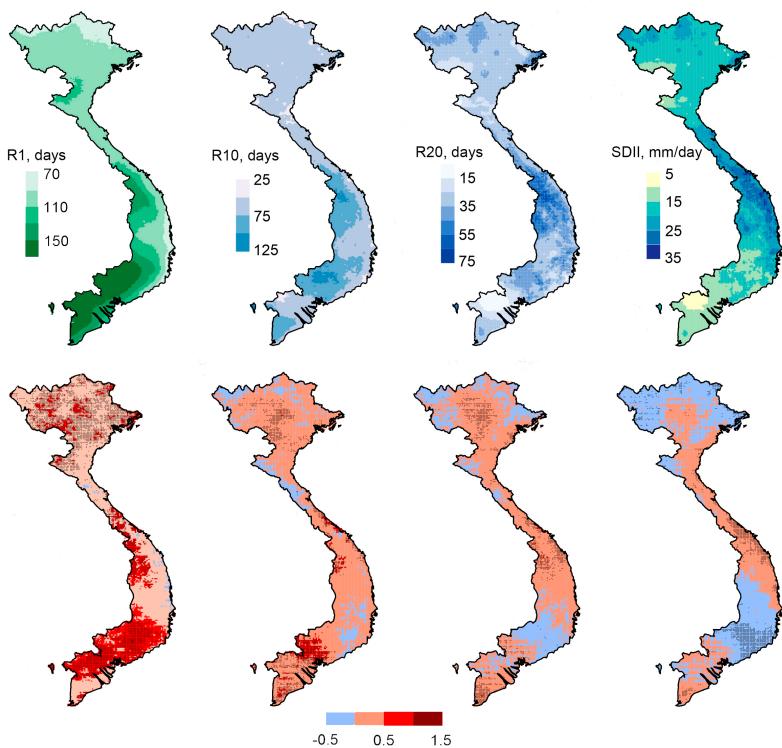


Рис. 7. Пространственное распределение индексов R1, R10m, R20mm и SDII (верхний ряд) и их тренды (нижний ряд) за 1991–2024 гг.

Обсуждение результатов

Проведённый анализ климатических данных за период 1991–2024 гг. выявил комплексные и пространственно-неоднородные изменения температурного режима и режима осадков на территории Вьетнама, что согласуется с глобальными тенденциями изменения климата, но с выраженным региональными особенностями.

Анализ выявил устойчивую и статистически значимую тенденцию к потеплению, которая проявляется в средних, максимальных и минимальных температурах. Основным результатом исследования является подтверждение повсеместного повышения температур на территории Вьетнама. Однако скорость и статистическая значимость этого потепления варьируются в зависимости от сезона (летний или зимний периоды) и районов. Наибольшая скорость роста среднегодовых и летних температур (до 0,6 °C/10 лет) в центральной части страны указывает на формирование здесь «горячей точки» потепления. Менее выраженные, но все же значимые тренды зимних температур на юге подчёркивают, что потепление затрагивает и традиционно более прохладные периоды и сезоны, хотя и в разной степени.

Особую тревогу вызывает не собственно рост средних значений, а значительное изменение экстремальных температурных показателей. Это имеет серьёзные последствия для населения, экосистем и экономики. Увеличение минимальных температур и индекса TNn (абсолютный

минимум) свидетельствует о «размывании» прохладных ночей, особенно на севере страны. Это нарушает естественные циклы охлаждения, что увеличивает тепловой стресс у людей и животных и может негативно сказываться на сельском хозяйстве [Dao et al., 2025; Tung et al., 2025].

Распространение положительного тренда индекса TR (количество тропических ночей) является одним из наиболее ярких индикаторов изменения климата. Тот факт, что в горных районах наблюдается наибольший рост этого показателя (до +30 дней/10 лет), говорит о глубоких трансформациях даже в традиционно более прохладных климатических зонах страны.

Резкий рост индекса TXx (абсолютный максимум) в центральных и северных районах (до +1,5 °C/10 лет) указывает на увеличение интенсивности и, вероятно, продолжительности волн жары. Ещё более показательным является стремительное увеличение количества жарких дней (SU35) на Севере и в Центре (до +25 дней/10 лет). Это создаёт прямую угрозу для здоровья людей, увеличивает риск тепловых ударов, нагрузку на системы энергоснабжения (пиковое потребление на кондиционирование) и ведёт к снижению продуктивности труда [Tran N. Q. L. et al., 2023].

Результаты анализа указывают на значительную интенсификацию гидрологического цикла над Вьетнамом. Положительные и статистически значимые тренды годовых сумм осадков, особенно в районах их традиционного максимума (наветренные склоны хребтов массива Чыонгшон), а также рост числа дней с сильными осадками (R10mm, R20mm) и индекса SDII в центральных районах чётко свидетельствуют об учащении экстремальных ливневых явлений. Приведённые результаты подтверждаются ранее полученными по другим типам данных (станционные, спутниковые и реанализы), но за более ранний период [Vu, Mishra, 2016; Espagne et al., 2021; Nguyen et al., 2017; Do et al., 2020; Le et al., 2020].

Пространственное распределение тенденций осадков также подчёркивает роль орографии и муссонной циркуляции в модуляции климатических изменений. Усиление осадков на наветренных склонах и побережье и слабая отрицательная тенденция на подветренных плато (Ламвьен, Зилинь) указывают на возможное усиление муссонного потока или его изменение, что требует дальнейшего изучения с привлечением данных атмосферной циркуляции. Межсезонный анализ осадков подтверждает традиционную муссонную динамику, но выявленные тренды предполагают, что изменения могут затрагивать интенсивность осадков в пределах сезона, а не его календарные сроки [Sterling, Hurley, Le, 2006; Vu, Mishra, 2016]. Например, пиковые значения в октябре на центральном побережье могут становиться ещё более экстремальными.

Прогнозируемый рост в 21 веке рост экстремальных температурных явлений и осадков требует разработки стратегий адаптаций к изменениям климата [Khiem et al., 2014; Nguyen et al., 2017; Quan et al., 2022; Tran et al., 2025].

Выводы

В целом климат Вьетнама за последние три десятилетия становится более тёплым и более влажным с увеличением частоты и интенсивности экстремальных осадков. Наиболее уязвимыми оказываются центральные и северные районы страны, где скорость изменений температурных показателей максимальна. Одновременно рост рисков, связанных с наводнениями, оползнями и разрушением инфраструктуры из-за экстремальных ливней, становится одним из самых серьёзных вызовов для устойчивого развития страны. Для углублённого понимания движущих механизмов этих изменений необходимы дальнейшие исследования с применением климатического моделирования, учитывающего взаимодействие между глобальным потеплением, региональной циркуляцией атмосферы и сложным рельефом Вьетнама.

Проведённое исследование предоставляет количественную оценку темпов современной климатической трансформации во Вьетнаме и может служить научной основой для разработки мер по адаптации к изменению климата на национальном и региональном уровнях.

Список литературы

1. *Bui L. K., Awange J., Vu D. T.* Precipitation and soil moisture spatio-temporal variability and extremes over Vietnam (1981–2019): understanding their links to rice yield // Sensors. – 2022. – Vol. 22. – Art. 1906. – <https://doi.org/10.3390/s22051906>
2. *Tran T., Nguyen V. T., Huynh T. L. H., Mai V. K., Nguyen X. H., Doan H. P.* Climate change and sea level rise scenarios for Viet Nam. Summary for policymakers. – HÀ NỘI : Ministry of Natural Resources & Environment, 2016. – 39 p.
3. Climate reanalysis // Copernicus : Climate Change Service / Europ. Commis. – URL: <https://climate.copernicus.eu/climate-reanalysis> (accessed: 20.08.2025).
4. *Dao L. T. A., Huy P., Pham T. T. T., Dinh T. N.* Global climate risks and agricultural firm performance in Vietnam // Agribusiness. – 2025. – Art. 70007. – <https://doi.org/10.1002/agr.70007>. – Publ. date: 02.07.2025.
5. *Dippner J. W., Nguyen K. V., Hein H., Ohde T., Loick N.* Monsoon-induced upwelling off the Vietnamese coast // Ocean Dynamics. – 2007. – Vol. 57, iss. 1. – P. 46–62. – <https://doi.org/10.1007/s10236-006-0091-0>
6. *Do Q. V., Do H. X., Do N. C., Ngo A. L.* Changes in precipitation extremes across Vietnam and its relationships with teleconnection patterns of the northern hemisphere // Water. – 2020. – Vol. 12. – Art. 1646. – <https://doi.org/10.3390/w12061646>
7. *Espagne E. (Ed.), Ngo-Duc T., Nguyen M.-H., Pannier E., Woillez M.-N., Drogoul A., Linh H. T. P.* Climate Change in Viet Nam. Impacts and Adaptation. A COP26 assessment report of the GEMMES Viet Nam project. – Paris : Agence française de développement (AFD), 2021. – 612 p.
8. *Funk C., Peterson P., Landsfeld M., Pedreros D., Verdin J., Shukla S., Husak G., Rowland J., Harrison L., Hoell A., Michaelsen J.* The climate hazards infrared precipitation with stations – a new environmental record for monitoring extremes // Scientific Data. – 2015. – Vol. 2. – Art. 150066. – <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>
9. *Ha D. H., Duc P. N., Luong T. H., Duc T. T., Ngoc T. T., Minh T. N., Minh T. N.* Application of artificial intelligence to forecast drought index for the Mekong Delta // Applied Science. – 2024. – Vol. 14. – Art. 6763. – <https://doi.org/10.3390/app14156763>
10. *Hallegatte S., Green C., Nicholls R. J., Corfee-Morlot J.* Future flood losses in major coastal cities // Nature Climate Change. – 2013. – Vol. 3. – P. 802–806. – <https://doi.org/10.1038/nclimate1979>
11. *Hersbach H., Bell B., Berrisford P. [et al.]* The ERA5 global reanalysis // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. – 2020. – Vol. 146, iss. 730. – P. 1999–2049. – <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
12. *Ho T. M. H., Phan V. T., Le N. Q., Nguyen Q. T.* Extreme climatic events over Vietnam from observational data and RegCM3 projections // Climate Research. – 2011. – Vol. 49. – P. 87–100. – <https://doi.org/10.3354/cr01021>
13. *Huong H. T. L., Pathirana A.* Urbanization and climate change impacts on future urban flooding in Can Tho city, Vietnam // Hydrology and Earth System Sciences. – 2013. – Vol. 17, iss. 1. – P. 379–394. – <https://doi.org/10.5194/hess-17-379-2013>
14. IPCC, 2021 : Climate Change 2021 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel

- on Climate Change / ed. by Masson-Delmotte V. [et al.]. – Cambridge, UK [et al.]: Cambridge Univ. Press, 2021. – 2391 p. – <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
15. Khiem V. M., Redmond G., McSweeney C., Thuc T. Evaluation of dynamically downscaled ensemble climate simulations for Vietnam // International Journal of Climatology. – 2014. – Vol. 34, iss. 7. – P. 2450–2463. – <https://doi.org/10.1002/joc.3851>
16. Le B. T. Vietnam, the Country and its Geographical Regions. – Hanoi : Thế Giới, 1997. – 620 p.
17. Tung L. T., Bentzen J., Mai Tram N. H., Thang P. N., Hoang D. V. Climate change and rice production: Empirical evidence from Vietnam // Studies in Agricultural Economics. – 2025. – Vol. 127, iss. 1. – P. 67–79. – <https://doi.org/10.7896/j.2977>
18. Le M. H., Kim H., Moon H., Zhang R., Lakshmi V., Nguyen L. B. Assessment of drought conditions over Vietnam using standardized precipitation evapotranspiration index, MERRA-2 re-analysis, and dynamic land cover // Journal of Hydrology: Regional Studies. – 2020. – Vol. 32. – Art. 100767. – <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100767>
19. Tran N. Q. L., Le H. T. C. H., Pham C. T. [et al.] Climate change and human health in Vietnam: a systematic review and additional analyses on current impacts, future risk, and adaptation // The Lancet Regional Health – Western Pacific. – 2023. – Vol. 40. – Art. 100943. – <https://doi.org/10.1016/j.lanwpc.2023.100943>
20. Mahlstein I., Knutti R., Solomon S., Portmann R. W. Early onset of significant local warming in low latitude countries // Environmental Research Letters. – 2011. – Vol. 6, no 3. – Art. 034009. – <https://doi.org/10.1088/1748-9326/6/3/034009>
21. MONRE. Climate Change, Sea Level Rise Scenarios for Viet Nam / Ministry of Natural Resources and Environment, Vietnam Natural Resources. – Hanoi : Environment and Mapping Publ. House, 2021. – 144 p.
22. Nguyen D.-Q., Renwick J., McGregor J. Variations of surface temperature and rainfall in Vietnam from 1971 to 2010 // International Journal of Climatology. – 2014. – Vol. 34, iss. 1. – P. 249–264. – <https://doi.org/10.1002/joc.3684>
23. Nguyen D. N., Nguyen T. H. Climate and Climate Resources in Vietnam. – Hanoi : Agr. Publ. House, 2004. – 296 p. (in Vietnamese).
24. Nguyen T. D. Geography of Vietnam: Natural, Human, Economic. – 2nd ed. – Hanoi : Thế Giới Publ., 1995. – 191 p.
25. Nguyen V. T., Mai V. K., Vu V. T., Nguyen D. M., Nguyen N. B. P., Le D. D., Truong M. H., Luu N. L. Changes in climate extremes in Vietnam // Vietnam Journal of Science, Technology and Engineering. – 2017. – Vol. 59, nr 1. – P. 79–87. – [https://doi.org/10.31276/vjste.59\(1\).79](https://doi.org/10.31276/vjste.59(1).79)
26. Peterson T. C., Folland C., Gruza G., Hogg W., Mokssit A., Plummer N. Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs 1998–2001. – Southampton, UK : Intern. CLIVAR Project Office, 2001. – 144 p. – (ICPO Publication Series ; nr 48).
27. Post E., Alley R. B., Christensen T. R., Macias-Fauria M., Forbes B. C., Gooseff M. N., Iler A., Kerby J. T., Laidre K. L., Mann M. E., Olofsson J., Stroeve J. C., Ulmer F., Virginia R. A., Wang M. The polar regions in a 2 °C warmer world // Science Advances. – 2019. – Vol. 5, iss. 12. – Art. eaaw9883. – <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaw9883>
28. Phan V.-T., Ngo-Duc T., Ho T.-M.-H. Seasonal and interannual variations of surface climate elements over Vietnam // Climate Research. – 2009. – Vol. 40, iss. 1. – P. 49–60. – <https://doi.org/10.3354/cr00824>
29. Quan T. A., Thanh N. D., Espagne E., Long T. T. A high-resolution projected climate dataset for Vietnam: Construction and preliminary application in assessing future change // Journal of Water and Climate Change. – 2022. – Vol. 13, iss. 9. – P. 3379–3399. – <https://doi.org/10.2166/wcc.2022.144>

30. Sterling E. J., Hurley M. M., Le D. M. Vietnam: A Natural History. – New Haven (USA) [et al.]: Yale Univ. Press, 2006. – 423 p.
31. Sun Q., Song W., Han Z., Song W., Wang Z. Assessment of flood disaster risk in the Lancang–Mekong Region // Water. – 2024. – Vol. 16. – Art. 3112. – <https://doi.org/10.3390/w16213112>
32. Tran T. N. D., Le M.-H., Zhang R., Nguyen B. Q., Bolten J. D., Lakshmi V. Robustness of gridded precipitation products for Vietnam basins using the comprehensive assessment framework of rainfall // Atmospheric Research. – 2023. – Vol. 293. – Art. 106923. – <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.106923>
33. Tran T. C., Tang Q., Zhao G., Wright N. Projected changes in average and extreme precipitation under global warming in Vietnam // Natural Hazards. – 2025. – Vol. 121. – P. 15135–15161. – <https://doi.org/10.1007/s11069-025-07386-x>
34. Trinh T. A. The impact of climate change on agriculture: Findings from households in Vietnam // Environmental and Resource Economics. – 2018. – Vol. 71, iss. 4. – P. 897–921. – <https://doi.org/10.1007/s10640-017-0189-5>
35. Vu D. T., Yamada T., Ishidaira H. Assessing the impact of sea level rise due to climate change on seawater intrusion in Mekong Delta, Vietnam // Water Science and Technology. – 2018. – Vol. 77, iss. 6. – P. 1632–1639. – <https://doi.org/10.2166/wst.2018.038>
36. Vu T. M., Mishra A. K. Spatial and temporal variability of standardized precipitation index over Indochina Peninsula // Cuadernos de Investigación Geográfica. – 2016. – Vol. 42, no 1. – P. 221–232. – <https://doi.org/10.18172/cig.2928>
37. Wassmann R., Hien N. X., Hoanh C. T., Tuong T. P. Sea level rise affecting the Vietnamese Mekong Delta: water elevation in the flood season and implications for rice production // Climatic Change. – 2004. – Vol. 66, iss. 1/2. – P. 89–107. – <https://doi.org/10.1023/B:CLIM.0000043144.69736.b7>
38. Zhang X., Alexander L., Hegerl G. C., Jones P., Klein T. A., Peterson T. C., Trewin B., Zwiers F. W. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data // Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change. – 2011. – Vol. 2, iss. 6. – P. 851–870. – <https://doi.org/10.1002/wcc.147>

ASSESSMENT OF CHANGES IN CLIMATE EXTREMES IN VIETNAM AT THE BEGINNING OF THE 21st CENTURY

Vyshkvarkova E. V.¹, Lineva N. P.¹, Gorbunov R. V.¹, Kuznetsov A. N.²,
Kuznetsova S. P.², Nguyen D. H.²

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

²Joint Russian-Vietnamese Tropical Research and Technology Center, Hanoi, Vietnam,

e-mail: gorbunov@ibss-ras.ru

Abstract: The article presents a comprehensive analysis of the spatiotemporal variability of temperature and precipitation in Vietnam for the period 1991–2024 using a number of climate indices. It was found that average annual temperatures demonstrate a statistically significant increase with a maximum warming intensity of up to 0.6 °C/10 years in the central regions. An increase in minimum temperatures (up to 0.4 °C/10 years) and a significant increase in the number of tropical nights (TR index) were detected, especially in mountainous areas (up to +30 days/10 years). The absolute annual maximum index (TXx) shows a sharp increase (up to +1.5 °C/10 years) in the central and northern regions. The greatest increase in the number of hot days (SU35, Tmax > 35 °C) was detected in the northern and central parts of Vietnam (up to +25 days/10 years). Precipitation analysis revealed positive and statistically significant trends in annual precipitation totals, particularly on the windward slopes of the Truong Son Range (up to 70 mm/year). An increase in the number of days

with heavy (R10 mm) and very heavy (R20 mm) precipitation was observed, as well as an increase in the precipitation intensity index (SDII) in the central part of the country, indicating an intensification of extreme rainfall events. The results indicate a significant transformation of Vietnam's climate, characterized by an intensification of the hydrological cycle and warming, creating new risks associated with heat stress and extreme precipitation.

Keywords: climate change, Vietnam, temperature indices, extreme precipitation, trends, warming, climate indices, monsoon

Сведения об авторах

Вышкваркова Елена Васильевна	кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории ландшафтной экологии и геоматики ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация, e-mail: vyshkvarkova@ibss-ras.ru
Линева Настасья Павловна	младший научный сотрудник лаборатории ландшафтной экологии и геоматики ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация, e-mail: n.lineva@ibss-ras.ru
Горбунов Роман Вячеславович	доктор географических наук, директор, главный научный сотрудник лаборатории ландшафтной экологии и геоматики ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация, e-mail: gorbunov@ibss-ras.ru
Кузнецов Андрей Николаевич	доктор биологических наук, генеральный директор российской части Совместного Российско-Вьетнамского научно-исследовательского и технологического центра, ул. Нгуен Van Хуен, Нгия До, Кай Зай, г. Ханой, Социалистическая Республика Вьетнам, e-mail: forestkuz@mail.ru
Кузнецова Светлана Павловна	старший инженер Института тропической экологии Совместного Российско-Вьетнамского научно-исследовательского и технологического центра, ул. Нгуен Van Хуен, Нгия До, Кай Зай, г. Ханой, Социалистическая Республика Вьетнам, e-mail: forestkuz@mail.ru
Нгуен Данг Хой	кандидат географических наук, профессор, директор Института тропической экологии Совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра, ул. Нгуен Van Хуен, Нгия До, Кай Зай, г. Ханой, Социалистическая Республика Вьетнам, e-mail: danghoi110@gmail.com

Поступила в редакцию 01.10.2025

Принята к публикации 03.12.2025

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ,
БИОТЕХНОЛОГИЯ И АКВАКУЛЬТУРА

УДК 579.24.043:519.6

DOI: [10.21072/eco.2025.10.4.08](https://doi.org/10.21072/eco.2025.10.4.08)

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВЕТА И ТЕМПЕРАТУРЫ НА СКОРОСТЬ РОСТА
ИНТЕНСИВНОЙ КУЛЬТУРЫ *PORPHYRIDIUM PURPUREUM* ***

Клочкова В. С., Лелеков А. С.

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

г. Севастополь, Российская Федерация,

e-mail: vsklochkova@ibss-ras.ru, a.lelekov@ibss-ras.ru

Аннотация: В работе проведён анализ возможности применения линейных сплайнов при моделировании комплексного воздействия света и температуры на рост микроводоросли *Porphyridium purpureum* (Bory) Drew et Ross. Культуру выращивали в накопительном режиме в плоскопараллельном фотобиореакторе при 27 °C и различной поверхностной облучённости — 3, 16 и 50 Вт м⁻², а также при фиксированной облучённости 16 Вт м⁻² и трёх значениях температуры — 15, 22 и 27 °C. При увеличении температуры с 15 до 27 °C максимальная продуктивность в линейной фазе возрастила в 1,5 раза, а с ростом интенсивности света с 3 до 50 Вт·м⁻² — в 4,4 раза. Введено понятие приведённой облучённости, показывающей, какое количество поглощённой культурой энергии приходится на единицу концентрации хлорофилла *a*. Продемонстрирована возможность использования линейных сплайнов для количественного описания влияния света и температуры на рост культуры микроводорослей. Верификация модели позволила установить точку перехода от экспоненциального к линейному росту: при варьировании температуры насыщающая приведённая облучённость была одинаковая и составила 0,18 Вт (мг хл *a*)⁻¹, а при увеличении света возросла с 0,11 до 0,44 Вт (мг хл *a*)⁻¹. Минимальный приведённый световой поток, при котором возможен рост порфиридиума, составлял около 0,01 Вт (мг хл *a*)⁻¹. Показано, что тангенс угла наклона линии регрессии зависит от соотношения хлорофилла *a* и калорийности биомассы, а при лимитировании роста культуры температурой — от эффективности преобразования световой в химическую энергию биомассы. Применение линейных сплайнов позволило достичь оптимального сочетания точности описания экспериментальных точек и возможности расчёта коэффициентов модели, каждый из которых имеет биологический смысл.

Ключевые слова: микроводоросли, накопительная культура, лимитирующие факторы, приведённая облучённость, удельная скорость роста, моделирование, линейные сплайны

Введение

Микроводоросли являются низшими фотоавтотрофными организмами, которые способны к окисительному фотосинтезу, характеризуются разделением фотохимических и ферментативных процессов. В условиях интенсивной культуры рост микроводорослей зависит от множества факторов: световых условий, наличия биогенных элементов, pH, солёности и температуры [Loganathan, Valérie, Lefsrud, 2018]. Свет, являясь основным источником энергии для фото- и биосинтеза,

*Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Комплексное исследование механизмов функционирования морских биотехнологических комплексов с целью получения биологически активных веществ из гидробионтов» (№ гос. регистрации 124022400152-1) и государственного задания «Комплексное исследование экологических и физиолого-биохимических особенностей микроводорослей различных таксономических групп при адаптации к меняющимся условиям среды» (№ гос. регистрации 124021300070-2).

определяет скорость протекания практически всех биохимических реакций в клетке. Интенсивность, спектральный состав и продолжительность освещения оказывают существенное воздействие на морфологию клеток, структуру фотосинтетического аппарата, накопление различных веществ в биомассе [Воронова и др., 2009; Ma et al., 2017]. Низкая интенсивность света ограничивает фотосинтетическую активность микроводорослей, в то время как высокая может привести к фотоингибированию роста культуры и повреждению фотосинтетического аппарата [Осипов и др., 2012; Yustinadiar, Manurung, Suantika, 2020]. Помимо световых условий, температура окружающей среды является важнейшим параметром, который определяет скорость роста культуры, влияет на все физиологические процессы в клетках [Макаров, Воскобойников, 2017; Шибзухова, Чивкунова, Лобакова, 2023], а также определяет стабильность конформации ферментов [Гололобов, Морозова, Степанов, 1991; Zheng et al., 2020]. При значительном отклонении от оптимальной температуры происходит замедление роста культуры, изменение биохимического состава биомассы и даже гибель клеток [Béchet et al., 2017; Соломонова, Акимов, 2021]. Для разных систематических групп микроводорослей характерны свои оптимальные значения температуры и интенсивности света [Singh S., Singh P., 2015; Huesemann et al., 2023].

В ходе многолетних экспериментальных исследований роста микроводорослей нами установлено, что на накопительной кривой присутствуют так называемые изломы — резкое изменение продуктивности, что можно объяснить только сменой лимитирующего фактора. Такие «изломы» могут наблюдаться как на собственно накопительной кривой роста, так и на отдельных составляющих биомассы. Различные лимитирующие факторы снижают продукцию тех или иных компонентов биомассы, что и приводит к изменению биохимического состава. Указанные обстоятельства вынуждают нас к разделению накопительной кривой на несколько фаз, участков, причём рост культуры на каждом участке описывается своим уравнением, что приводит к увеличению их количества и трудностям расчёта коэффициентов. В литературе при моделировании влияния конкретного лимитирующего фактора на продуктивность микроводорослей обычно применяют классические модели. Например, при описании кинетики светозависимого роста используют модели Михаэлиса — Ментен, Стила, гиперболический тангенс и др. [Krichen et al., 2021]. Общепринятой является концепция Друпа, позволяющая записать гиперболическую зависимость скорости роста от внутриклеточной квоты элемента [Droop, 1983]. Для учёта температурного эффекта используют уравнения Аррениуса, Вант-Гоффа и др. [Goldman, Carpenter, 1974; Bitaubé Pérez, Caro Pina, Pérez Rodríguez, 2008]. В некоторых работах, в связи с отсутствием чёткого разграничения областей действия различных лимитирующих факторов, предлагаются модели совместного действия света, азота или температуры [Flynn, 2001; Chang et al., 2017; Padmanabhan Yu., Padmanabhan P., 2021; Шоман, Акимов, 2022]. Хотя такой подход и используется для описания динамики накопления биомассы в искусственных фотобиореакторах, в большей степени он актуален для расчёта первичной продукции [Ковалева, Финенко, 2019]. На сегодняшний день вопрос о последовательном или совместном действии различных лимитирующих факторов остаётся дискуссионным.

Любая математическая модель является некоторой идеализацией, при этом основная задача исследователя состоит в нахождении баланса между точностью описания экспериментальных данных и адекватностью полученных коэффициентов уравнений. Ранее нами предложена модель светозависимого роста культуры микроводорослей [Лелеков, Клочкова, 2024]. Это позволило описать линейный рост накопительной культуры *Porphyridium purpureum*, определить видоспецифические коэффициенты, каждый из которых имеет чёткий биологический смысл. Красная морская микроводорось *Porphyridium purpureum* была выбрана в качестве модельного объекта в связи с высокими скоростями роста (до 0,1 ч⁻¹) [Белянин, Сидько, Тренкеншу, 1980], а также способностью к биосинтезу В-фикаэритрина, применяемого в качестве пищевого красителя,

и полисахаридов [Castro-Varela, Sáez, Gómez, 2021; Yin et al., 2022; Schoeters et al., 2023]. В данной работе предпринята попытка количественного описания влияния двух основных параметров — интенсивности света и температуры на величину удельной скорости роста. Поэтому целью является анализ возможности применения линейных сплайнов при моделировании комплексного воздействия света и температуры на рост накопительной культуры *P. rigrigeum*.

Материал и методы

В качестве объекта исследования использовали культуру красной морской водоросли *Porphyridium rigrigeum* (Bory) Drew et Ross (порфиридиум), полученную из коллекции ЦКП «Коллекция гидробионтов Мирового океана» ФИЦ ИнБЮМ). *P. rigrigeum* выращивали на питательной среде для морских водорослей [Терсков, Тренкеншю, Белянин, 1981] в условиях накопительной культуры. Клетки порфиридиума предварительно адаптировали к заданной облучённости в плотностате. Питательную среду готовили на стерилизованной морской воде. Для исключения влияния биогенных элементов на скорость роста порфиридиума концентрации азота, фосфора, железа были увеличены вдвое. Использовался плоскопараллельный фотобиореактор толщиной 2 см, площадью рабочей поверхности 0,05 м² и объёмом 1 л. В опытах в качестве источника освещения использовали холодные люминесцентные лампы Philips Daylight TL-D 54-765 6G мощностью 18 Вт.

В первой серии экспериментов накопительную культуру порфиридиума выращивали при фиксированной температуре 27 °C и различной поверхностной облучённости — 3, 16 и 50 Вт м⁻², во второй — при постоянном световом потоке 16 Вт м⁻² и трёх температурах — 15, 22 и 27 °C. Отметим, что 27 °C является оптимальной температурой для культивирования порфиридиума, а 16 Вт м⁻² — интенсивностью света, при которой наблюдается максимальное содержание основных фотосинтетических пигментов [Гудвилович и др., 2021; Лелеков, 2024].

Барботаж воздухом осуществляли аквариумным компрессором Hailea ACO-308 через распылитель со скоростью 1 л воздуха на литр культуры в минуту. Поддерживали оптимальное для порфиридиума значение pH = 8, что обеспечивало отсутствие лимитирования по углекислому газу.

Оптическую плотность культуры определяли на фотометре UNICO-2100 в 1-сантиметровых кюветах при длине волны 750 нм. При пересчёте единиц оптической плотности на сухое вещество (СВ) использовали эмпирический коэффициент 0,55, полученный в серии параллельных измерений оптической плотности и сухого веса (СВ) при 60 °C. Спектры поглощения регистрировали в 1-сантиметровых кюветах в диапазоне от 380 до 800 нм с шагом 1 нм на двухлучевом спектрофотометре Shimadzu UV-2600i, оснащённом интегрирующей сферой, на базе ЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ. Концентрацию хлорофилла *a* и интегральный (по всему спектру ФАР) коэффициент поглощения света рассчитывали по истинным спектрам поглощения [Чернышёв, Клочкова, Лелеков, 2024].

Результаты

Экспериментальные результаты. Накопительная кривая является одной из важнейших характеристик роста микроводорослей в заданных условиях, по форме которой можно определить лимитирующие факторы. На начальном этапе культивирования *P. rigrigeum* во всех опытных вариантах наблюдали экспоненциальную фазу роста, продолжительность которой составляла, как правило, около 2 суток (рис. 1), при температуре 15 °C — 4 суток. Аппроксимация данной фазы экспоненциальной зависимостью позволила рассчитать максимальную удельную скорость роста, величина которой возрастала с увеличением облучённости и температуры почти в 2 раза (см. табл. 1).

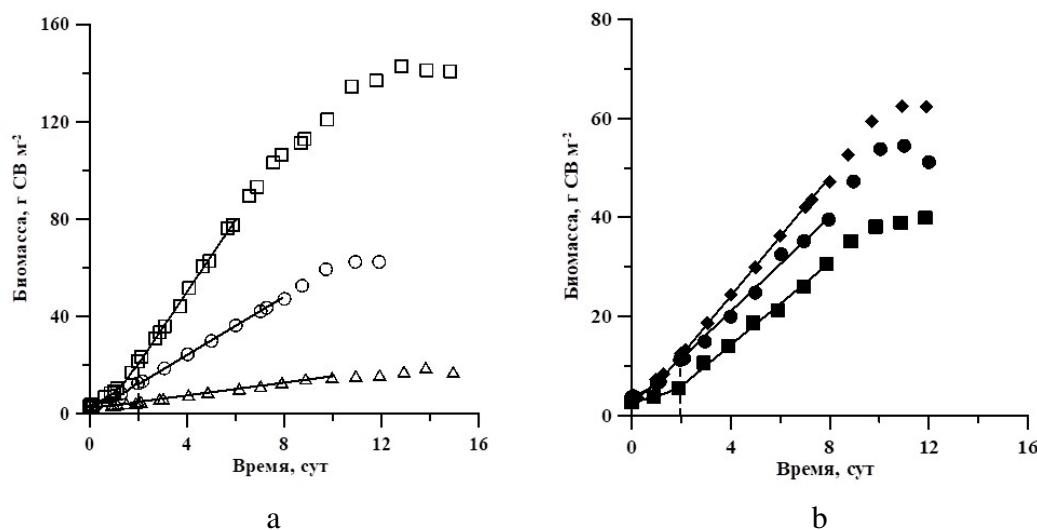


Рис. 1. Накопительные кривые роста культуры *P. purpureum* при различных поверхностных облучённостях (a): Δ — 3 Вт м^{-2} , \circ — 16 Вт м^{-2} , \square — 50 Вт м^{-2} и температурах (b): \blacksquare — 15 °C, \bullet — 22 °C, \blacklozenge — 27 °C. Сплошная линия — аппроксимация экспоненциальной и линейной фаз роста

По окончании экспоненциального роста культура переходила в линейную фазу, продолжительность которой достигала 8 дней. На данном участке мы наблюдали постоянную продуктивность P_m . Можно утверждать, что именно световые условия в первую очередь определяли величину P_m . При увеличении температуры с 15 до 27 °C максимальная скорость роста возрастила в 1,5 раза, а с ростом интенсивности света с 3 до 50 Вт· м^{-2} — в 4,4 раза. Верхней границей линейной фазы роста была принята та плотность культуры, которая соответствует максимальному содержанию фотосинтетических пигментов в биомассе *P. purpureum*. Из литературных источников [Yin et al., 2022] известно, что в условиях недостатка азота значительно снижается доля фикобилипротеинов, в частности В-фикаэритрина, что приводит к прекращению линейного роста культуры.

Таблица 1

Продукционные характеристики накопительной культуры *P. purpureum*

	Поверхностная облучённость, Вт· м^{-2}			Температура, °C		
	3	16	30	15	22	27
μ_m , сут $^{-1}$	0,56	0,71	1,00	0,38	0,52	0,71
P_m , г СВ м^{-2} сут $^{-1}$	3,72	6,23	16,38	4,15	4,76	6,23

Таким образом, на накопительной кривой роста мы можем выделить две точки смены лимитирующего фактора: 1. При переходе из экспоненциальной в линейную фазу, где происходит переключение с внутриклеточного на внешнее ограничение роста. 2. По окончании линейного участка следует смена светового на субстратное лимитирование. Учитывая это, можно сделать вывод, что наиболее удобным математическим инструментом, позволяющим объяснить влияние света и температуры на рост культуры и изменение её производственных характеристик, являются линейные сплайны. Они позволяют не только чётко задать точку смены лимитирующего фактора, но и значительно упростить саму математическую модель роста культуры.

Обсуждения

Математическая модель. Базовые принципы моделирования светозависимого роста культуры микроводорослей изложены в предыдущих работах [Лелеков, Тренкеншу, 2023; Лелеков, Клочкова, 2024] и могут быть кратко сформулированы следующим образом:

1. В области лимитирования нормированная скорость синтеза биомассы микроводорослей определяется приведённой плотностью потока λ_i :

$$\frac{\mu_0}{\mu_{0m}} = \begin{cases} \lambda_i, & \lambda_i \leq 1 \\ 1, & \lambda_i \geq 1 \end{cases}, \quad (1)$$

где μ_0 — удельная скорость синтеза биомассы, сут⁻¹; μ_{0m} — максимальная удельная скорость синтеза биомассы, сут⁻¹; λ_i — приведённая плотность потока энергетического субстрата, которая может быть выражена через количество поглощённой световой энергии на единицу ключевого мультиферментного комплекса, на котором происходит сопряжение энергообменных реакций:

$$\lambda_i = \frac{\varphi_e \cdot \alpha \cdot I_0}{\mu_e \cdot F_0}, \quad (2)$$

где I_0 — поверхностная облучённость, Вт м⁻²; α — интегральный коэффициент поглощения света, рассчитываемый по всей ФАР; φ_e — количество макроэргов, восстанавливаемых за счёт одного кванта, мг·Дж⁻¹; F_0 и μ_e — концентрация и активность ключевого мультиферментного комплекса, регулирующего энергообмен в клетке.

2. При оптимальных внешних условиях скорость синтеза биомассы зависит от скорости энергообмена на ключевом мультиферментном комплексе F_0 , его доли в биомассе f_B и активности μ_e [Тренкеншу, Лелеков, 2017]:

$$\mu_{0m} = \frac{\varphi_0}{\theta} \cdot \varsigma \cdot f_B \cdot \mu_e, \quad (3)$$

где φ_0 — эффективность преобразования энергии макроэргов в химическую энергию биомассы, мг·Дж⁻¹; θ — калорийность биомассы, Дж; ς — свободная энергия одной молекулы макроэрга, Дж.

3. Все структурные компоненты биомассы пропорциональны между собой, что позволяет выразить неизвестную концентрацию F_0 , например, через легко измеряемый основной фотосинтетический пигмент — хлорофилл a :

$$F_0 = f_\pi \cdot \pi, \quad (4)$$

где f_π — коэффициент пропорциональности между концентрацией ключевого мультиферментного комплекса и хлорофиллом a .

Наблюдаемая удельная скорость роста культуры микроводорослей по определению равна разности удельных скоростей синтеза μ_0 и эндогенного расхода биомассы μ_r , что можно записать следующим образом:

$$\mu = \mu_0 - \mu_r. \quad (5)$$

При $\lambda_i = 1$ интенсивность света достигает некоторой насыщающей I_{sat} , а удельная скорость роста — максимального значения. Это позволяет выразить приведённую плотность светового потока как $\lambda_i = I / I_{sat}$. С увеличением плотности культуры происходит снижение количества световой энергии, приходящейся на единицу биомассы. При $I < I_{sat}$ экспоненциальный рост культуры заканчивается, наступает фаза линейного роста. Таким образом, с учётом (5) система уравнений (1), задающая точку перехода от области неограниченного к лимитированному росту, может быть записана в виде:

$$\begin{cases} \mu = \mu_m, I_0 \geq I_{sat} \\ \mu = \mu_{0m} \frac{\varphi_e \cdot \alpha \cdot I_0}{\mu_e \cdot f_\pi \cdot \pi} - m u_r, I_0 < I_{sat} \end{cases}. \quad (6)$$

Первое уравнение (6) описывает рост культуры в экспоненциальной фазе, когда клетки не затеняют друг друга. Величина μ_m будет увеличиваться с ростом внешней облучённости I_0 , пока не достигнет максимального значения, определяемого выражением (3). В текущем эксперименте в заданном диапазоне интенсивности света мы получили прямо пропорциональную зависимость μ_m от I_0 (см. табл. 1). В общем случае функция $\mu = f(I_0)$ нелинейная, она может быть получена на основании двухкомпонентной модели светозависимого роста [Лелеков, Тренкеншу, 2021].

Рассмотрим второе уравнение системы (6), описывающее рост культуры на линейном участке накопительной кривой. Для упрощения математических выкладок введём понятие «приведённая облучённость» — величина, показывающая, какое количество поглощённой культурой световой энергии приходится на единицу хлорофилла a :

$$i = \frac{\alpha \cdot I_0}{\pi} = I_0 \cdot \frac{1 - e^{-k_\pi \cdot \pi}}{\pi}, \quad (7)$$

где I_0 — поверхностная облучённость фотобиореактора, Вт м⁻²; π — концентрация хлорофилла a , мг м⁻²; α — интегральный коэффициент поглощения света; k_π — коэффициент удельного поглощения света хлорофиллом a , м² г⁻¹.

На рисунке 2 представлена зависимость α от концентрации хлорофилла a . В простейшем случае такие данные могут быть аппроксимированы классическим уравнением Бугера — Ламберта — Бера. В литературе использование закона Бугера при описании светопоглощения плотными культурами микроводорослей ставится под сомнение, разрабатываются альтернативные подходы [Zhou et al., 2024]. Тем не менее в нашем случае для всех опытных вариантов, с любой облучённостью и температурой, коэффициент k_π был одинаков и составил 0,017 м²·г⁻¹, что свидетельствует о его видоспецифичности.

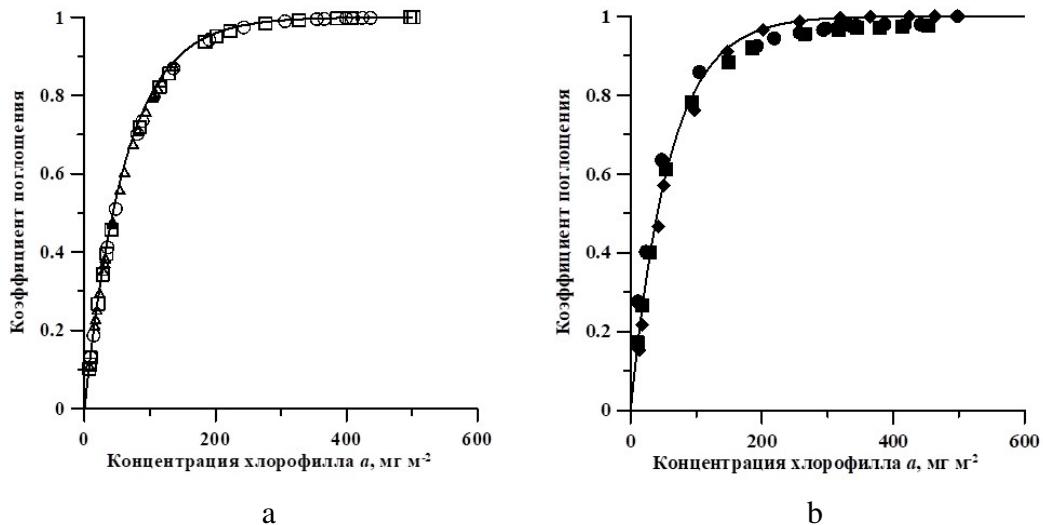


Рис. 2. Зависимость интегрального коэффициента поглощения света культурой *P. rurigaeum* от концентрации хлорофилла *a* при различных облучённостях (а): Δ — 3 Вт м^{-2} , \circ — 16 Вт м^{-2} , \square — 50 Вт м^{-2} и температурах (б): \blacksquare — 15°C , \bullet — 22°C , \blacklozenge — 27°C . Чёрная линия — аппроксимация моделью Бугера — Ламберта — Бера

Таким образом, учитывая (7), запишем зависимость удельной скорости роста культуры микроводорослей от световых условий, в которых находятся клетки, в виде линейных сплайнов:

$$\begin{cases} \mu = \mu_m, i \geq i_{sat} \\ \mu = k \cdot i - \mu_r, i < i_{sat} \end{cases}, \quad (8)$$

где i — приведённая облучённость, Вт ($\text{мг хл } a$) $^{-1}$; i_{sat} — насыщающая приведённая облучённость, при которой скорость достигает максимума, Вт ($\text{мг хл } a$) $^{-1}$; k — обобщённый коэффициент, тангенс угла наклона.

Верификация модели. На рисунке 3 представлена аппроксимация экспериментальных данных зависимости удельной скорости роста культуры *P. rurigaeum* от приведённой облучённости линейными сплайнами (8).

Проанализируем полученные значения коэффициентов (см. табл. 2). Во всех опытных вариантах при приведённой облучённости выше насыщающего значения ($i > i_{sat}$) максимальные удельные скорости роста оставались постоянными. Для световых кривых величина μ_m определяется структурой фотосинтетического аппарата клеток, их степенью адаптации к заданным световым условиям [Лелеков, Клочкова, 2024] и поверхностной облучённостью. В свою очередь, при уменьшении температуры μ_m снижалась из-за подавления активности ключевого мультиферментного комплекса μ_e (см. выражение (3)). Известно, что активность ферментов в общем случае зависит от различных факторов: положения молекулы субстрата относительно катализитического центра в момент их взаимодействия, локальных физико-химических условий [Варфоломеев, Гуревич, 1999].

Найдя точку пересечения линейных сплайнов (8) и соответствующую насыщающую облучённость i_{sat} , мы можем определить момент, когда происходит смена лимитирующего фактора. Параметр i_{sat} представляет собой тот приведённый энергетический поток, при котором заканчивается экспоненциальный и начинается линейный рост культуры. Расчёты показали, что при варьировании температуры насыщающая приведённая облучённость была одинаковой на всех ломаных,

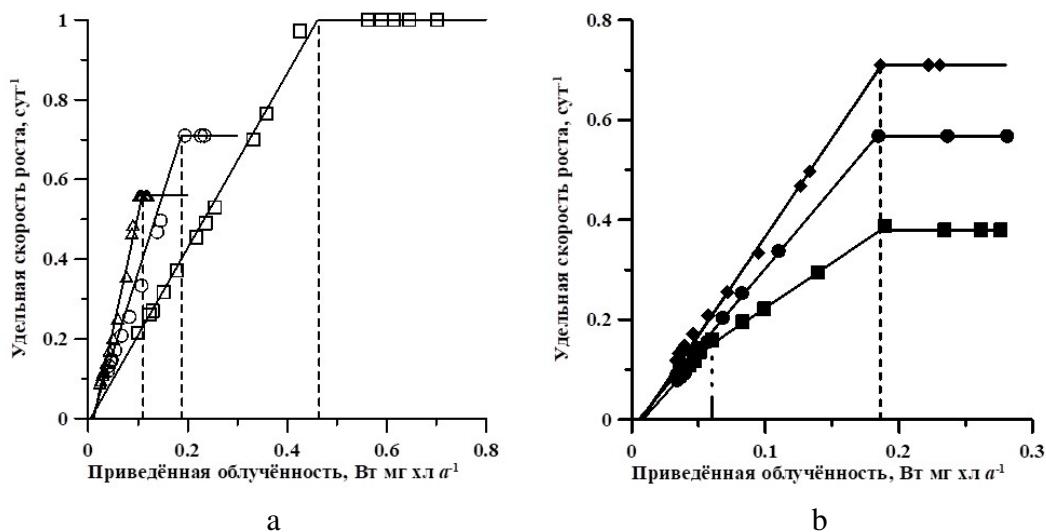


Рис. 3. Зависимость удельной скорости роста культуры *P. rupyreum* от приведённой облучённости. (a): Δ — 3 Вт м^{-2} , \bigcirc — 16 Вт м^{-2} , \square — 50 Вт м^{-2} . (b): \blacksquare — 15 $^\circ\text{C}$, \bullet — 22 $^\circ\text{C}$, \blacklozenge — 27 $^\circ\text{C}$. Сплошная линия — аппроксимация моделью (8)

а при изменении интенсивности света — различной. Это можно объяснить тем, что при культивировании порфиридиума с различными температурами (см. рис. 3б) клетки были адаптированы к одному и тому же свету. Таким образом, i_{sat} определяется только степенью фотоакклиматации к заданным световым условиям и не зависит от температуры.

Таблица 2

Расчётные значения параметров линейных сплайнов (8)

	Удельная скорость эндогенного расхода биомассы μ_r , сут^{-1}	Тангенс угла наклона k	Насыщающая i , $\text{Вт (мг хл } a)^{-1}$	Компенсационная i , $\text{Вт (мг хл } a)^{-1}$
Интенсивность света, $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$				
3	0,06	5,71	0,11	0,01
16	0,03	3,95	0,18	0,01
50	0,01	2,18	0,46	0,005
Температура, $^\circ\text{C}$				
15	0,03	3,00/1,8	0,18	0,01
22	0,02	3,18	0,18	0,01
27	0,03	3,95	0,18	0,01

С другой стороны, у всех ломаных наблюдалась одинаковая компенсационная приведённая облучённость, которая составляла около 0,01 $\text{Вт (мг хл } a)^{-1}$. Данный параметр можно рассматривать как минимальный приведённый световой поток, при котором возможен рост порфиридиума.

На участке светолимитирования ($i < i_{sat}$) убыль удельной скорости роста культуры зависит от тангенса угла наклона k . Согласно (6), k определяется видоспецифическими параметрами мультиферментного комплекса F_0 , максимальной удельной скоростью синтеза биомассы и коэффициентом пропорциональности F_0 концентрации хлорофилла a :

$$k = \mu_{0m} \cdot \frac{\varphi_e}{\mu_e \cdot f_\pi}. \quad (9)$$

Подставляя (3) в (9), получим:

$$k = \frac{\varphi_0}{\theta} \cdot \varsigma \cdot f_B \cdot \mu_e \cdot \frac{\varphi_e}{\mu_e \cdot f_\pi} = \frac{\varphi_0}{\theta} \cdot \varsigma \cdot \frac{F_0}{B} \cdot \mu_e \cdot \frac{\varphi_e}{\mu_e \cdot \chi} \cdot \frac{\pi}{F_0} = \frac{\varphi_m}{\theta} \cdot \frac{\pi}{B} = \varphi_m \cdot \frac{\beta}{\theta}, \quad (10)$$

где введено обозначение $\varphi_e \cdot \varphi_0 \cdot \varsigma = \varphi_m$; β — содержание хлорофилла *a* в биомассе.

Выражение (10) показывает, что при световом лимитировании изменение тангенса угла наклона происходит вследствие изменения соотношения доли хлорофилла *a* и калорийности биомассы или эффективности преобразования световой энергии φ_0 . Согласно литературным данным, при малом световом потоке, который мы имеем в оптически плотной культуре, φ_0 можно считать константой [Тренкеншу, 2005]. Поэтому постоянство k возможно в том случае, когда соотношение β/θ — константа. Следовательно, оба параметра изменяются с одинаковой скоростью или остаются постоянными. Вне зависимости от механизма можно утверждать, что изменение соотношения β/θ связано с изменением биохимического состава биомассы микроводорослей при их накопительном выращивании. Этот факт имеет экспериментальное подтверждение, отмеченное в работах [Guihéneuf, Stengel, 2015; Chang et al., 2017]: в процессе роста накопительной культуры *P. rurigaeum* происходит накопление липидов, углеводов и фикоэритрина в биомассе. Полученные нами экспериментальные результаты свидетельствуют о том, что в линейной фазе роста при оптимальной температуре содержание хлорофилла *a* увеличивалось, стабилизируясь на 4–6-е сутки эксперимента. При низкой интенсивности света β достигало 0,9 %, в то время как при высокой — около 0,6 %. С возрастанием интенсивности света в 16 раз тангенс угла наклона k снижался в 2,6 раза.

С другой стороны, температура также влияет на величину k (см. рис. 3б). При её увеличении с 22 до 27 °C тангенс угла наклона изменился незначительно (с 3,18 до 3,95). Клетки порфиридиума в этих опытных вариантах были адаптированы к одной и той же интенсивности света, а следовательно, обладали одинаковым пигментным составом. Понижение величины k можно связать с убылью эффективности преобразования световой энергии в химическую энергию биомассы φ_0 . Согласно литературным данным, при понижении температуры у всех водорослей активируются физиологические механизмы, направленные на избыточное накопление экзополисахаридов и липидов [Макаров, Воскобойников, 2017; Харчук, 2017; Xu et al., 2020], которые выделяются, в том числе в окружающую среду, и создают защитный барьер вокруг клеток. Очевидно, что в таком случае поглощённая световая энергия не поступает для синтеза биомассы, поэтому эффективность её преобразования снижается. Отметим, что при 15 °C в середине линейной фазы наблюдалось увеличение тангенса угла наклона с 1,8 до 3 (рис. 3б). Вероятно, это обусловлено тем, что при низкой температуре и малых световых потоках у порфиридиума начинается усиленное накопление фотосинтетических пигментов. Так, по нашим данным, содержание В-фикаэритрина при 15 °C в конце линейного участка достигало 13–15 %, в то время как при оптимальной температуре и той же облучённости было в 2 раза меньше. Аналогичные результаты по сверхсинтезу фикаэритрина при низких значениях интенсивности света и температуры приводятся в работе [Xu et al., 2020]. Таким образом, температура, как и свет, определяет удельную скорость роста культуры в экспоненциальной фазе и угол наклона ломаной на линейном участке, но не влияет на величину насыщающего и компенсационного светового потока.

Заключение

В работе показана возможность использования линейных сплайнов для количественного описания влияния света и температуры на рост культуры микроводорослей. В качестве теоретической основы для моделирования использовали базовые принципы количественного описания фотобиосинтеза [Лелеков, Тренкеншу, 2021; Лелеков, Тренкеншу, 2023] и введённое понятие приведённой облучённости. Применение линейных сплайнов позволило достичь оптимального сочетания точности описания экспериментальных данных и возможности расчёта коэффициентов модели, каждый из которых имеет биологический смысл. Кроме того, моделирование позволило установить точку перехода от экспоненциального к линейному росту. Показано высокое соответствие предлагаемого теоретического подхода и экспериментальных результатов, полученных для красной морской водоросли *P. rurpureum*, выращиваемой в плоскопараллельных культиваторах при различных фиксированных облучённостях и температурах. Можно говорить о том, что и свет, и температура определяют продуктивность порфиридиума в обеих фазах роста, однако механизмы их действия различны.

Список литературы

1. Белянин В. Н., Сидъко Ф. Я., Тренкениш А. П. Энергетика фотосинтезирующей культуры микроводорослей. – Новосибирск : Наука, 1980. – 134 с.
2. Варфоломеев С. Д., Гуревич К. Г. Биокинетика. Практический курс. – Москва : ФАИР-ПРЕСС [и др.], 1999. – 720 с.
3. Воронова Е. Н., Конюхов И. В., Казимирко Ю. В., Погосян С. И., Рубин А. Б. Изменения состояния фотосинтетического аппарата диатомовой водоросли *Thalassiosira weisflogii* при фотоадаптации и фотоповреждении // Физиология растений. – 2009. – Т. 56, № 6. – С. 836–843. – <https://www.elibrary.ru/kxlbdb>
4. Гололобов Ж. Ю., Морозова И. Л., Степанов В. М. Влияние температуры и pH на стабильность и каталитическую активность сериновой протеиназы *Bacillus subtilis*, шт. 72 // Биохимия. – 1991. – Т. 56, № 1. – С. 33–40.
5. Гудвилович И. Н., Лелеков А. С., Мальцев Е. И., Куликовский М. С., Боровков А. Б. Рост культуры *Porphyridium rurpureum* (*Porphyridiales, Rhodophyta*) и продукция В-фикаэритрина при различной освещённости // Физиология растений. – 2021. – Т. 68, № 1. – С. 103–112. – <https://doi.org/10.31857/S0015330320060056>
6. Ковалева И. В., Финенко З. З. Количественные закономерности изменения относительного содержания хлорофилла при совместном действии света и температуры у диатомовых водорослей // Вопросы современной альгологии. – 2019. – № 3. – С. 28–36. – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2019-3\(21\)-28-36](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2019-3(21)-28-36)
7. Лелеков А. С. Кинетические и продукционные характеристики культуры микроводорослей в условиях светолимитирования // Доклады Международной конференции «Математическая биология и биоинформатика» / Ин-т матем. пробл. биологии РАН ; под ред. В. Д. Лахно. – Пущино : ИМПБ РАН, 2024. – Т. 10. – Ст. е51. – <https://doi.org/10.17537/icmmb24.21>
8. Лелеков А. С., Клочкова В. С. Моделирование роста и фотоадаптации накопительной культуры *Porphyridium rurpureum* // Математическая биология и биоинформатика. – 2024. – Т. 19, № 1. – С. 169–182. – <https://doi.org/10.17537/2024.19.169>
9. Лелеков А. С., Тренкениш Р. П. Двухкомпонентная модель роста микроводорослей в плотностате // Математическая биология и биоинформатика. – 2021. – Т. 16, № 1. – С. 101–114. – <https://doi.org/10.17537/2021.1.6.101>

10. Лелеков А. С., Тренкениш Р. П. Моделирование динамики макромолекулярного состава микроводорослей в накопительной культуре // Компьютерные исследования и моделирование. – 2023. – Т. 15, № 3. – С. 739–756. – <https://doi.org/10.20537/2076-7633-2023-15-3-739-756>
11. Макаров М. В., Воскобойников Г. М. Влияние освещения и температуры на микроводоросли Баренцева моря // Вопросы современной альгологии. – 2017. – № 3. – <http://algology.ru/1183>
12. Осипов В. А., Абдурахманов Г. М., Гаджисиев А. А., Братковская Л. Б., Заядан Б. К. Использование флуоресценции хлорофилла «а» для биотестирования водной среды // Юг России: экология, развитие. – 2012. – Т. 7, № 2. – С. 93–100. – <https://www.elibrary.ru/plrcbx>
13. Соломонова Е. С., Акимов А. И. Оценка физиологического состояния микроводорослей с помощью цитометрических и флуоресцентных показателей // Физиология растений. – 2021. – Т. 68, № 5. – С. 553–560. – <https://doi.org/10.31857/S0015330321050201>
14. Терсков И. А., Тренкениш Р. П., Белянин В. Н. Светозависимый рост водоросли *Platymonas viridis* в непрерывной культуре // Известия Сибирского отделения АН СССР. Серия биологических наук. – 1981. – № 10, вып. 2. – С. 103–108. – URL: <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/14595>
15. Тренкениш Р. П. Кинетика субстрат-зависимых реакций при различной организации метаболических систем. – Севастополь : ЭКОСИ – Гидрофизика, 2005. – 89 с. – <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/6620>
16. Тренкениш Р. П., Лелеков А. С. Моделирование роста микроводорослей в культуре. – Белгород : КОНСТАНТА, 2017. – 152 с. – <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/2073>
17. Харчук И. А. Оценка жизнеспособности трех видов микроводорослей после воздействия низких температур с крио-протекторами // Вопросы современной альгологии. – 2017. – № 1. – Ст. 29. – <http://algology.ru/1133>
18. Чернышёв Д. Н., Клочкова В. С., Лелеков А. С. Модель декомпозиции нативного спектра поглощения культуры *Porphyridium purpureum* // Вестник Самарского университета. Естественнонаучная серия. – 2024. – Т. 30, № 1. – С. 122–131. – <https://doi.org/10.18287/2541-7525-2024-30-1-122-131>
19. Шибзухова К. А., Чивкунова О. Б., Лобакова Е. С. Влияние низкой температуры и азотного голодания на морфо-физиологические характеристики двух штаммов зелёных микроводорослей рода *Lobosphaera* sp. (Chlorophyta, Trebouxiophyceae) // Физиология растений. – 2023. – Т. 70, № 3. – С. 301–310. – <https://doi.org/10.31857/S0015330322600772>
20. Шоман Н. Ю., Акимов А. И. Особенности температурной адаптации *Phaeodactylum tricornutum*, *Nitzschia* sp. и *Skeletonema costatum* (Bacillariophyceae) при разной освещённости // Ботанический журнал. – 2022. – Т. 107, № 3. – С. 237–246. – <https://doi.org/10.31857/S0006813622030048>
21. Béchet Q., Laviale M., Arsapin N., Bonnefond H., Bernard O. Modeling the impact of high temperatures on microalgal viability and photosynthetic activity // Biotechnology for Biofuels. – 2017. – Vol. 10. – Art. 136. – <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0823-z>
22. Bitaubé Pérez E., Caro Pina I., Pérez Rodríguez L. Kinetic model for growth of *Phaeodactylum tricornutum* in intensive culture photobioreactor // Biochemical Engineering Journal. – 2008. – Vol. 40, iss. 3. – P. 520–525. – <https://doi.org/10.1016/j.bej.2008.02.007>
23. Castro-Varela P., Sáez K., Gómez P. I. Effect of urea on growth and biochemical composition of *Porphyridium purpureum* (Rhodophyta) and scaling-up under non-optimal outdoor conditions // Phycologia. – 2021. – Vol. 60, iss. 6. – P. 572–581. – <https://doi.org/10.1080/00318884.2021.1953305>

24. Chang J., Le K., Song X., Jiao K., Zeng X., Ling X., Shi T., Tang X., Sun Y., Lin L. Scale-up cultivation enhanced arachidonic acid accumulation by red microalgae *Porphyridium purpureum* // Bioprocess and Biosystems Engineering. – 2017. – Vol. 40. – P. 1763–1773. – <https://doi.org/10.1007/s00449-017-1831-x>
25. Droop M. R. 25 years of algal growth kinetics a personal view // Botanica Marina. – 1983. – Vol. 26, iss. 3. – P. 99–112. – <https://doi.org/10.1515/botm.1983.26.3.99>
26. Flynn K. J. A mechanistic model for describing dynamic multi-nutrient, light, temperature interaction in phytoplankton // Journal of Plankton Research. – 2001. – Vol. 23, iss. 9. – P. 977–997. – <https://doi.org/10.1093/plankt/23.9.977>
27. Goldman J. C., Carpenter E. J. A kinetic approach to the effect of temperature on algal growth // Limnology and Oceanography. – 1974. – Vol. 19, iss. 5. – P. 756–766. – <https://doi.org/10.4319/lo.1974.19.5.0756>
28. Guihéneuf F., Stengel D. B. Towards the biorefinery concept: interaction of light, temperature and nitrogen for optimizing the co-production of high-value compounds in *Porphyridium purpureum* // Algal Research. – 2015. – Vol. 10. – P. 152–163. – <https://doi.org/10.1016/j.algal.2015.04.025>
29. Huesemann M., Edmundson S., Gao S., Negi S., Dale T., Gutknecht A., Daligault H. E., Carr C. K., Freeman J., Kern T., Starkenburg S. R., Gleasner C. D., Louie W., Kruk R., McGuire S. DISCOVR strain pipeline screening. Pt. I. Maximum specific growth rate as a function of temperature and salinity for 38 candidate microalgae for biofuels production // Algal Research. – 2023. – Vol. 71. – Art. 102996. – <https://doi.org/10.1016/j.algal.2023.102996>
30. Krichen E., Rapaport A., Floc'h E., Fouilland E. A new kinetics model to predict the growth of micro-algae subjected to fluctuating availability of light // Algal Research. – 2021. – Vol. 58. – Art. 102362. – <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102362>
31. Loganathan G., Valérie O., Lefsrud M. Factors affecting growth of various microalgal species // Environmental Engineering Science. – 2018. – Vol. 35, iss. 10. – P. 1037–1048. – <https://doi.org/10.1089/EES.2017.0521>
32. Ma C., Zhang Y., Bo, Ho S. H., Xing D. F., Ren N., Qi, Liu B. F. Cell growth and lipid accumulation of a microalgal mutant *Scenedesmus* sp. Z-4 by combining light/dark cycle with temperature variation // Biotechnology for Biofuels. – 2017. – Vol. 10. – Art. 260. – <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0948-0>
33. Padmanabhan Yu., Padmanabhan P. Improvements in conventional modeling practices for effective simulation and understanding of microalgal growth in photobioreactors: an experimental study // Biotechnology and Bioprocess Engineering. – 2021. – Vol. 26, iss. 3. – P. 483–500. – <https://doi.org/10.1007/s12257-020-0293-1>
34. Schoeters F., Spit J., Swinnen E., De Cuyper A., Vleugels R., Noyens I., Van Miert S. Pilot-scale cultivation of the red alga *Porphyridium purpureum* over a two-year period in a greenhouse // Journal of Applied Phycology. – 2023. – Vol. 35, iss. 5. – P. 2095–2109. – <https://doi.org/10.1007/s10811-023-03045-5>
35. Singh S. P., Singh P. Effect of temperature and light on the growth of algae species: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2015. – Vol. 50. – P. 431–444. – <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.024>
36. Xu Y., Jiao K., Zhong H., Wu S., Ho S. H., Zeng X., Li J., Tang X., Sun Y., Lin L. Induced cultivation pattern enhanced the phycoerythrin production in red alga *Porphyridium purpureum* // Bioprocess and Biosystems Engineering. – 2020. – Vol. 43, iss. 2. – P. 347–355. – <https://doi.org/10.1007/s00449-019-02230-6>
37. Yin H. C., Sui J. K., Han T. L., Liu T. Z., Wang H. Integration bioprocess of B-phycoerythrin and exopolysaccharides production from photosynthetic microalga *Porphyridium cruentum* // Frontiers in Marine Science. – 2022. – Vol. 8. – Art. 836370. – <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.836370>

38. Yustinadiar N., Manurung R., Suantika G. Enhanced biomass productivity of microalgae *Nannochloropsis* sp. in an airlift photobioreactor using low-frequency flashing light with blue LED // Bioresources and Bioprocessing. – 2020. – Vol. 7. – Art. 43. – <https://doi.org/10.1186/s40643-020-00331-9>
39. Zheng Y., Xue C., Chen H., He C., Wang Q. Low-temperature adaptation of the snow alga *Chlamydomonas nivalis* is associated with the photosynthetic system regulatory process // Frontiers in Microbiology. – 2020. – Vol. 11. – Art. 1233. – <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01233>
40. Zhou H., Wang J., Zhang Z., Lan C. Q. High cell density culture of microalgae in horizontal thin-layer algal reactor: Modeling of light attenuation and cell growth kinetics // Chemical Engineering Journal. – 2024. – Vol. 496. – Art. 154175. – <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.154175>

MODELING THE INFLUENCE OF LIGHT AND TEMPERATURE ON THE GROWTH RATE OF INTENSIVE CULTURE OF *PORPHYRIDIUM PURPUREUM*

Klochkova V. S., Lelekov A. S.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,
e-mail: vsklochkova@ibss-ras.ru, a.lelekov@ibss-ras.ru

Abstract: The paper analyzes the possibility of using linear splines in modeling the complex effects of light and temperature on the growth of *Porphyridium purpureum* (Bory) microalgae Drew et Ross. The culture was grown in a batch mode in a plane-parallel photobioreactor at a fixed temperature of 27 °C and different surface irradiation — 3, 16 and 50 W m⁻², as well as at irradiation of 16 W m⁻² and three temperature values — 15, 22 and 27 °C. In all experiments the exponential phase continued for 2 days. With an increase in temperature from 15 to 27 °C, the maximum productivity in the linear phase increased 1.5 times, and with an increase in light intensity from 3 to 50 W m⁻² — 4.4 times. The possibility of using linear splines to quantify the effect of light and temperature on the growth of microalgae is shown. This approach allowed us to establish a transition point from exponential to linear growth phase. Calculations showed that with varying temperatures the saturation reduced irradiance was the same on all experiences and amounted to 0.18 W mg chl a⁻¹. In case of light intensity growth saturation reduced irradiance increased from 0.11 to 0.44 W mg chl a⁻¹. At any irradiance and temperature, the minimum reduced irradiance flux at which *P. purpureum* growth is possible was about 0.01 W mg chl a⁻¹. It was shown that the tangent of the slope angle of linear regression at light limitation depends on chlorophyll a content and caloric content of *P. purpureum* biomass. While temperature limitation tangent of the slope angle depends on the light efficiency of photobiosynthesis. The use of linear splines made it possible to achieve an optimal combination of the accuracy of the description of experimental data and the possibility of calculating the model coefficients each of which has a biological meaning.

Keywords: microalgae, batch culture, limiting factor, reduced irradiance, specific growth rate, modeling, linear splines

Сведения об авторах

Клочкива
Виктория
Сергеевна

инженер опытно-экспериментального микроводорослевого производства,
ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН»,
просп. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация,
e-mail: vsklochkova@ibss-ras.ru

Лелеков
Александр
Сергеевич

доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация, e-mail: a.lelekov@ibss-ras.ru

Поступила в редакцию 11.06.2025
Принята к публикации 11.11.2025

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЁЙ 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

Выписка из реестра зарегистрированных

средств 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 № 10 от 16.10.2025).

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: Статья Tapas Chatterjee, Igor Dovgal and David J. Marshall.
«Localization of Cyclodonta bipartita (Stokes, 1885) on harpacticoid host. Локализация Cyclodonta
bipartita (Stokes, 1885) на гарпактикоиде»

Подписано к печати: 18.12.2025

Дата выхода: 12.01.2026

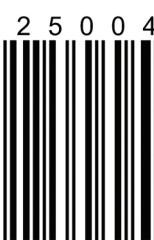
Формат 60x84/8 Усл. печ. л. 10,9 Тираж: 100 экз.

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

Распространяется бесплатно

I S S N 2 9 4 9 - 4 5 8 3

A standard linear barcode representing the ISSN 2949-4583.



>

9 772949458006