



ISSN 2414-4738

Научный журнал

Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского

ЭКОСИСТЕМЫ



Флора и фауна
Биоценология
Биология и экология
видов
Охрана природы

36

2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КРЫМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ В. И. ВЕРНАДСКОГО

ЭКОСИСТЕМЫ

2023

Выпуск 36

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION
OF THE RUSSIAN FEDERATION

V. I. VERNADSKY CRIMEAN FEDERAL UNIVERSITY

EKOSISTEMY

2023

ISSUE 36

SCIENTIFIC JOURNAL • FOUNDED IN 1979 • PUBLISHED 4 TIMES PER YEAR • SIMFEROPOL

ISSN 2414-4738

Свидетельство о регистрации СМИ – ПИ № ФС 77 - 83395 от 15.06.2022 г. Выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

Учредитель – ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского»

Печатается по решению Научно-технического совета Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского, протокол №

Журнал включен в перечень ВАК по специальностям и соответствующим им отраслям науки: 1.5.9. Ботаника; 1.5.15. Экология

Адрес редакции: Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, кафедра ботаники и физиологии растений и биотехнологий, пр. Академика Вернадского, 4, Симферополь, 295007
E-mail: ekotnu@list.ru

Полнотекстовые версии статей последних выпусков журнала в формате PDF и правила для авторов размещены на официальном сайте журнала по адресу: <http://ekosystems.cfuv.ru/>

Оригинал-макет: С. В. Леонов

На обложке: Крокус прекрасный. Государственный природный заказник регионального значения Республики Крым Караби-Яйла (фото С. П. Иванова)

Подписано в печать _____. Формат 60×84/8. Усл. п. л. _____. Печать цифровая. Тираж 50 экз. Бесплатно

Заказ № _____. Дата выхода в свет _____

Отпечатано в Издательском доме ФГАОУ ВО «КФУ имени В. И. Вернадского»
295051, г. Симферополь, бул. Ленина, 5/7

Главный редактор

Иванов С. П., д. б. н., профессор, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Заместитель главного редактора

Котов С. Ф., к. б. н., доцент, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Технический редактор

Леонов С. В., к. б. н., доцент, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Ответственный секретарь

Омельченко А. В., к. б. н., доцент, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Редактор текстов на английском и немецком языках

Шестакова Е. С., к. п. н., Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Контент-менеджер сайта

Николенко В. В., к. б. н., доцент, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Члены редакционной коллегии

Багрикова Н. А., д. б. н., Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН

Белик В. П., д. б. н., профессор, Южный федеральный университет

Бескаравайный М. М., к. б. н., Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН

Бугара И. А., к. б. н., доцент, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Будашкин Ю. И., к. б. н., Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН

Воронин Л. В., д. б. н., доцент, Ярославский государственный педагогический университет имени К. Д. Ушинского

Гапонов С. П., д. б. н., профессор, Воронежский государственный университет

Довгаль И. В., д. б. н., профессор, Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН

Егоров В. Н., д. б. н., академик РАН, Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН

Егорова Н. А., д. б. н., Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма

Ена А. В., д. б. н., профессор, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Ермаков Н. Б., д. б. н., Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН

Захаренко Г. С., д. б. н., профессор, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Ивашов А. В., д. б. н., профессор, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Коба В. П., д. б. н., профессор, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН

Корженевский В. В., д. б. н., профессор, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН

Мацюра А. В., д. б. н., профессор, Алтайский государственный университет

Митрофанова И. В., д. б. н., чл.-корр. РАН, Главный ботанический сад им. Н. И. Цицина РАН

Назаров В. В., к. б. н., Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Оберемок В. В., д. б. н., доцент, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Петришина Н. Н., к. б. н., доцент, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Пешич В., доктор наук, профессор, Университет Черногории (University of Montenegro), Черногория

Плугатарь Ю. В., д. с.-х. н., чл.-корр. РАН, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН

Репецкая А. И., к. б. н., доцент, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Рябушко В. И., д. б. н., Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН

Русина Л. Ю., д. б. н., Московский государственный зоологический парк

Савельев А. П., д. б. н., Всероссийский НИИ охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова

Свольнский А. Д., к. б. н., Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Фатерыга А. В., к. б. н., Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН

Чаттерджи Т., доктор наук (зоологии), Международная школа Хесент (Crescent), Индия

Чуян Е. Н., д. б. н., профессор, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

СОДЕРЖАНИЕ

Алексеева Т. В., Поначугин А. В., Давыдова Ю. Ю., Орлова А. И., Белокурова Е. В., Апалихина О. А., Новик И. Р., Веселова А. Ю., Албычева Л. А. Аспекты глубокой переработки отечественных сырьевых ресурсов на примере побочных продуктов мукомольных предприятий на принципах экологичности и импортозамещения	7
Павшенко Д. А. Применение геоботанических методов для изучения донной растительности Чёрного моря	18
Никифоров А. Р., Папельбу В. В., Пшеничников Н. А. Особенности флористического состава, экологической и биологической структуры растительных сообществ земляничниковой формации (<i>Arbuteta andrachnis</i>) Южного берега Крыма	30
Копий В. Г., Бондаренко Л. В. Сравнительный анализ макрозообентоса псевдолиторали бухты Казачья (Крым, Чёрное море) в периоды 2007–2010 и 2021–2022 годов	39
Фатерыга А. В., Иванов С. П. Исправления и дополнения к списку пчел-мегахилид (Hymenoptera: Megachilidae) Крымского полуострова	56
Мартынов В. В., Никулина Т. В., Потапенко И. Л., Летухова В. Ю. Современное состояние популяции дубовой кружевницы <i>Corythucha arcuata</i> (Hemiptera: Tingidae) в Карадагском природном заповеднике	66
Евстигнеева И. К., Танковская И. Н. Состав и биомасса макрофитобентоса памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Фиолент» (Черное море)	75
Терентьев А. С. Биоценоз <i>Anadara kagoshimensis</i> (Tokunaga, 1906) в Керченском проливе (Азово-Черноморский бассейн)	87
Ларионов А. В. Пространственная структура растительных сообществ горной лесостепи Хакасии на примере модельного полигона «Хребет Пистаг»	102
Бубличенко Ю. Н., Бубличенко А. Г., Веревкин М. В. Результаты весенних авиаучетов птиц в российском секторе Финского залива	114
Бескаравайный М. М. Новые данные о распространении и численности некоторых охраняемых видов птиц Крыма	133
Гривко Е. В., Гамм Т. А., Бикбаева Л. Л. Оценка состояния естественных биоценозов типичной растительности на территории Ево-Яхинского участка недр	148
Тильба П. А. Особенности распространения и характер пребывания красноголового короляка (<i>Regulus ignicapillus</i>) на Западном Кавказе	162
Миронова Н. В., Панкеева Т. В. Ресурсы макрофитов памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Фиолент»	171
Овсиенко О. Л., Чайковская Л. А., Баранская М. И. Влияние микробного препарата на миграцию подвижных форм Рb в системе почва – озимая пшеница	181
Госькова С. М., Алтынцев А. В., Дедюхин А. С., Смирнов К. Д. О гидрохимическом и альгологическом составе некоторых водных объектов бассейна реки Иж в зимне-ранневесенний период 2023 года	187
Потапенко И. Л., Клименко Н. И., Летухова В. Ю. Декоративные древесные растения города Саки и перспективы их использования в озеленении	203
Болтачева Н. А., Лисицкая Е. В., Ревков Н. К. Распространение <i>Phoronis</i> в биоценозах Черного и Азовского морей	209
Гладкая А., Ирдосопол Е. Обзор биоразнообразия насекомых-энтомофагов, привлеченных для зимовки в гнездовые устройства, размещенные в различных биоценозах	225
Вахрушева Л. П., Николенко В. В., Петришина Н. Н., Котов С. Ф. Структурно-ценотические особенности ценопопуляций и анатомическое строение вегетативных органов <i>Paronychia cephalotes</i> (M. Vieb.) Besser	234
Ржевская В. С., Омельченко А. В., Бугара И. А., Омельченко С. О. Ускоренная переработка отходов животноводства с использованием микробного консорциума в суспензионной и иммобилизованной формах	248

CONTENT

Alekseeva T. V., Ponachugin A. V., Davydova Y. Y., Orlova A. I., Belokurova E. V., Apalikhina O. A., Novik I. R., Veselova A. Y., Albycheva L. A. Aspects of deep processing of domestic raw materials on the example of by-products of flour mills on the principles of environmental sustainability and import substitution	7
Pavshenko D. A. Application of geobotanical methods for studying the benthic vegetation of the Black Sea	18
Nikiforov A. R., Papelbu V. V., Pshenichnikov N. A. Features of the floral composition, ecological and biological structure of plant communities of the strawberry tree formation (<i>Arbuteta andrachnis</i>) of the Southern Coast of Crimea	30
Kopiy V. G., Bondarenko L. V. Macrozoobenthos in the pseudolittoral zone of Kazachya Bay (Crimea, Black Sea) in different periods of the study	39
Fateryga A. V., Ivanov S. P. Corrections and additions to the list of the megachilid bees (Hymenoptera: Megachilidae) of the Crimean Peninsula.....	56
Martynov V. V., Nikulina T. V., Potapenko I. L., Letukhova V. Yu. The current status of the oak lace bug <i>Corythucha arcuata</i> (Hemiptera: Tingidae) population in the Karadag Nature Reserve	66
Evstigneeva I. K., Tankovskaya I. N. Composition and biomass of macrophytobenthos of the natural monument "Coastal aquatic complex at Cape Fiolent" (Black Sea).....	75
Terentev A. S. Biocoenosis of the ark clam <i>Anadara kagoshimensis</i> (Tokunaga, 1906) in the Kerch Strait (Azov and Black Sea Basin).....	87
Larionov A. V. Spatial structure of plant communities of the mountainous forest-steppe of Khakassia: A Case Study of the "Pistag Ridge" Model Polygon	102
Bubluchenko J. N., Bubluchenko A. G., Verevkin M. V. The main results of spring aerial survey of birds at the Russian part of the Gulf of Finland.....	114
Beskaravayny M. M. New data on the distribution and abundance of some protected bird species of Crimea.....	133
Grivko E. V., Gamm T. A., Bikbaeva L. L. Assessment of the state of natural biocenoses of typical vegetation on the territory of the Evo-Yakhinsky subsoil plot	148
Tilba P. A. Distribution and presence patterns of the common firecrest (<i>Regulus ignicapillus</i>) in the Western Caucasus	162
Mironova N. V., Pankeeva T. V. Stocks of macrophyte in the natural monument "Coastal aquatic complex at cape Fiolent"	171
Ovsienko O. L., Chaikovska L. A., Baranskaya M. I. The effect of microbial preparation on the migration of mobile Pb forms in the soil – winter wheat system	181
Goskova S. M., Altyntsev A. V., Dedyukhin A. S., Smirnov K. D. Hydrochemical and algal composition of some water bodies in the basin of the Izh river during the winter-early spring period in 2023	187
Potapenko I. L., Klimenko N. I., Letukhova V. Ju. Ornamental arboreal plants in Saki city and prospects for the landscaping.....	203
Boltachova N. A., Lisitskaya E. V., Revkov N. K. Distribution of <i>Phoronis</i> in the biocenoses of the Black Sea and the Sea of Azov.....	209
Gladcaia A., Irdosopol E. Review of the entomofaunal biodiversity, attracted in nesting devices placed in various biocenoses	225
Vakhrusheva L. P., Nikolenko V. V., Petrishina N. N., Kotov S. F. Structural and coenotical features of coenopopulations and anatomical structure of vegetative organs <i>Paronychia cephalotes</i> (M. Bieb.) Besser.....	234
Rzhevskaya V. S., Omelchenko A. V., Bugara I. A., Omelchenko S. O. Accelerated processing of animal husbandry waste using a microbial consortium in suspension and immobilised forms.....	248

Аспекты глубокой переработки отечественных сырьевых ресурсов на примере побочных продуктов мукомольных предприятий на принципах экологичности и импортозамещения

Алексеева Т. В.^{1,2}, Поначугин А. В.¹, Давыдова Ю. Ю.¹, Орлова А. И.², Белокурова Е. В.³, Аналихина О. А.³, Новик И. Р.¹, Веселова А. Ю.², Албычева Л. А.³

¹ Нижегородский государственный педагогический университет имени К. Минина
Нижегород, Россия
zyablova@mail.ru

² Нижегородский государственный инженерно-экономический университет
Нижегород, Россия
[annasaturina@mail](mailto:annasaturina@mail.ru)

³ Воронежский государственный университет инженерных технологий
Воронеж, Россия
ludmila.malakova@mail.ru

В статье обсуждаются аспекты более эффективного использования побочных продуктов мукомольных предприятий – зародышей пшеницы и продуктов их глубокой переработки. В современных условиях жестко стоит проблема внедрения во все сферы жизни технологий глубокой и комплексной переработки отечественного сельскохозяйственного сырья на принципах импортозамещения и экологичности, которое используется в сложившейся экономической ситуации недостаточно эффективно. Побочные продукты мукомольных заводов – зародыши пшеницы и продукты их вторичной переработки обладают высокой пищевой и биологической ценностью, содержат целый спектр эссенциальных составляющих, включающих витамины А, D, E, группы В, макро и микроэлементы, поликозанол, пентозаны, пищевые волокна и другие биологически активные вещества. Состав зародышей пшеницы и продуктов их переработки существенно различается в зависимости от года, района произрастания, сортовой принадлежности и состава помольной партии семян пшеницы. Продукты глубокой переработки мукомольного производства в настоящее время используются недостаточно эффективно ввиду низкой хранимоспособности при наличии в них целого спектра эссенциальных составляющих и биологически активных веществ. Предлагается своевременное применение существующих технологий и режимов хранения данных видов отечественного сырья, наиболее приемлемых в конкретных условиях отдельных предприятий и предполагаемых направлений дальнейшего использования этого перспективного вида сырья, в том числе способ стабилизации, разработанный авторами статьи, заключающийся в очистке сырья от металломагнитных примесей, воздействии ультрафиолетового излучения и смешивания со смесью аскорбиновой и янтарной кислот в определенной концентрации. При этом соблюдаются принципы экологичности и импортозамещения. Предложенный авторами способ, наряду с другими, позволяет расширить дальнейшее применение продуктов глубокой переработки мукомольных заводов в различных отечественных отраслях и направлениях пищевого производства, нутрициологии, лечебно-профилактическом и специальном питании, медицинской отрасли, ветеринарии, производстве кормов для животных.

Ключевые слова: продукты глубокой переработки мукомольных предприятий, импортозамещение, экологичность.

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе жестко стоит проблема внедрения во все сферы жизни технологий глубокой и комплексной переработки отечественного сельскохозяйственного сырья на принципах импортозамещения и экологичности, которое используется в сложившейся экономической ситуации недостаточно эффективно. Примером может служить побочный продукт мукомольного производства – зародыши пшеницы, обладающие уникальным составом. Этот доступный сырьевой источник обладает высокой степенью перспективности применения в пищевой и маслоэкстракционной промышленности, в производстве кормов для животных, выпуске биологически активных добавок и веществ, лечебно-

профилактическом питании, диетологии и других наиважнейших сферах применения (Алексеева и др., 2010, 2013, 2014, 2016, 2017, 2018, 2019; Зяблова и др., 2003; Родионова и др., 2003; Шевцов и др., 2005; Alekseeva, 2014, 2016).

Производство муки разных сортов из семян пшеницы в России происходит высокими темпами. Однако следует отметить, что выделение качественных зародышей пшеницы – побочного продукта при переработке помольных партий пшеницы в сортовую муку возможно только на мукомольных предприятиях, оснащенных высокопроизводительным оборудованием, на минимельницах этот процесс осуществить не представляется возможным. Отбор зародышей возможен из верхнего схода с рассева четвертой размольной системы в количестве 0,2–0,3 % от массы зерна пшеницы, поступившей в зерноочистительное отделение завода. Учитывая все обстоятельства, в России ежегодный выход этого ценного природного продукта находится на уровне 150–170 тысяч тонн, при этом в настоящее время этот побочный продукт крупных мелькомбинатов в основном не выделяется отдельно, а обезличивается в отрубях. Причиной служит то, что зародыши быстро теряют свои ценные первоначальные качественные показатели и свойства, для их сохранения требуются дополнительные экономические вложения, предполагающие наличие специальных режимов хранения.

В настоящее время существует множество способов сохранения первоначальных ценных свойств зародышей и при их своевременном применении создаются широкие возможности для сохранения этого отечественного источника сырья. Известен способ увеличения срока годности пшеничных зародышей путем обжаривания в сетчатых бьюксах при температуре 120 °С, путем воздействия инфракрасных лучей в интервале температур 50–100 °С, нагреванием в сушилках конвективного, барабанного и вакуумного типов при температурах 130–150 °С. Также известны сведения о сушке в кипящем слое при температуре 110–130 °С. Применялось обезжиривание зародышей гидравлическим прессом до 4 % и последующее измельчение. Имеются данные о способе гидратации тонкоизмельченных зародышей пшеницы содовым раствором и последующей сушке при температуре 130–140 °С в барабанной сушилке. Также применялось воздействие на продукт текучим паром при атмосферном давлении воздуха, известны сведения по сушке в осциллирующих режимах, замораживанию при низких температурах, внесении комбинаций различных консервантов и другие способы стабилизации (Максимчук и др., 1995; Вишняков и др., 1996; Пикус и др., 1998; Тарутин, 1999; Корнеева и др., 2003; Махмудов и др., 2009; Шевцов и др., 2009; Grandel, 2009; Ведерникова и др., 2010; Vukobradovic, 2011; Бабаев, 2012; Barnes, 2013).

Однако, на мукомольных предприятиях вышеуказанные способы в основном не применяются, так как не выполняют основные цели и задачи на предприятиях этого типа и при этом требуют привлечения дополнительных трудовых, экономических и других ресурсов. В статье обсуждаются аспекты более эффективного сохранения качества и применения побочных продуктов мукомольных предприятий, анализируются существующие и предлагается авторский дешевый способ стабилизации качества пшеничных зародышей.

Цель наших исследований – исследовать свойства зародышей пшеницы и продуктов их переработки, полученных из помольных партий пшеницы из разных районов произрастания и разных сортов, установить причины их недостаточно эффективного использования, обобщить данные по способам хранения зародышей и разработать новый вариант способа хранения зародышей пшеницы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В работе исследовались зародыши пшеницы (ТУ 9295-010-00932732-08), жмых зародышей пшеницы (ТУ 9295-014-18062042-06), масло зародышей пшеницы (ТУ 9141-010-18062042-96). Объем исследуемого материала составил: 3 тонны зародышей пшеницы; 1000 килограмм жмыха зародышей пшеницы, 50 м³ масла зародышей пшеницы. Продукты глубокой переработки семян пшеницы получены промышленным способом на маслоэкстракционных заводах и мукомольных комбинатах с высокопроизводительным

оборудованием Воронежской, Липецкой и Белгородской областей при переработке зерна пшеницы различных сортов и районов произрастания. Выработку масла из зародышей пшеницы осуществляли методом холодного прессования. В работе применяли аскорбиновую (ТУ 4815-76) и янтарную кислоты (ГОСТ 6341-75). Органолептические показатели определяли по ГОСТ 5897-90, ГОСТ 10967-2019, ГОСТ 29245-91. Средний размер частиц по ГОСТ 27560-87. Аминокислотный состав по ГОСТ 32195-2013 (триптофан – по ГОСТ 32201-2013). Массовую долю белка по ГОСТ Р 53951-2010, азота и сырого протеина по ГОСТ 13496.4-2019. Массовую долю жира по ГОСТ 31902-2012, сырого жира по ГОСТ 13496.15-2016. Состав жирных кислот по ГОСТ 31663-2012. Массовую долю углеводов по ГОСТ Р 51636-2000, крахмала – по ГОСТ ISO 6493-2015, пищевых волокон - по ГОСТ Р 54014-2010; сырой клетчатки – по ГОСТ 31675-2012. Активную кислотность (рН) исследуемых сред по ГОСТ 26180-84, перекисное число по ГОСТ 31485-2012 и кислотность по ГОСТ 5898-87. Массовую долю влаги по ГОСТ 30483-97, ГОСТ 5900-2014. Массовую долю золы по ГОСТ Р 51411-99, ГОСТ 5901-2014. Витаминный состав по ГОСТ 29138-91, ГОСТ 29139-91, ГОСТ 32043-2012, ГОСТ 7047-55, ГОСТ 52147-2003. Минеральный состав по ГОСТ 32343-2013, ГОСТ 26657-97, ГОСТ 26570-85, ГОСТ 31660-2012, ГОСТ 2082.3-81, ГОСТ 31707-2012, ГОСТ EN 14083-2013. Микробиологические и токсикологические показатели в соответствии с правилами ЕС: ЕС853/2004 и техническими регламентами Таможенного союза ТС021/2011, ТС022/2011, ТС029/2012, ТС038/2013. Отбор и подготовка проб для микробиологических испытаний по ГОСТ 26669-85. Определение значений КМАФАнМ по ГОСТ 10444.15-94, ГОСТ ISO 7218-2015. Наличие дрожжей, плесневых грибов по ГОСТ 10444.12-2013, протей по ГОСТ 28560-90, БГКП (колиформ) по ГОСТ 31747-2012, патогенных, в том числе бактерий рода *Salmonella* по ГОСТ 31659-2012. Содержание токсичных элементов: кадмия по ГОСТ 26933-86, свинца по ГОСТ 26932-86, мышьяка по ГОСТ 26930-86; ртути по ГОСТ 26927-86.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В соответствии с анализом российских и зарубежных источников, полученными опытными данными состав, свойства пшеничных зародышей и соответственно продуктов их глубокой переработки значительно колеблется, что обусловлено, вероятнее всего, особенностями используемых методик, а также разнообразием объектов исследований (зародышей зерна пшеницы), отобранных из помольных партий зерна с разными характеристиками, сортами, географией произрастания на конкретных предприятиях с индивидуальными технологическими режимами работы. При этом внешний вид, органолептические показатели и технологические свойства существенно не зависят от сорта и района произрастания. Зародыши обладают высокой технологичностью, это сыпучий продукт, внешне очень похожий на отруби, с размером отдельных частиц 0,5–1,5 мм, золотисто-желтого цвета с нейтральным запахом и вкусом, что позволяет его вносить в любые системы, существенно не изменяя их первоначальных свойств, это предполагает широкие возможности для использования этого вторичного продукта в технологиях пищевых производств, а также в качестве наполнителя при производстве комбикормов и премиксов для животных (рис. 1).

Важно отметить, что зародыши пшеницы сами по себе являются побочным продуктом производства мукомольной промышленности и могут самостоятельно использоваться более эффективно при благоприятных условиях (экономические, технологические и другие факторы), при этом из них можно отжимать масло при получении также продукта глубокой переработки – жмыха. Жмых и масло зародышей пшеницы имеют не менее ценные свойства и значительно расширяют сферы применения, указанные выше.

На данном этапе существуют два принципиально отличающихся друг от друга метода промышленного получения масла из зародышей – прессованием и экстрагированием. При механическом прессовании в зависимости от используемого оборудования применяются методы статического и проходного прессования. В основе второго способа лежит растворение масла в легколетучих растворителях (ацетон, гексан, циклогексан, диэтиловый и петролейный

эфир, спирто-эфирная смесь, трихлорэтилен, хлороформ-метанол-вода) с последующим его экстрагированием. В зависимости от применяемого растворителя выход масла составляет от 75 до 160 грамм на один килограмм исходного сырья. Чтобы увеличить выход масла применяются различные способы воздействия на низкомасличное сырье, а именно – ферментативный гидролиз (например, препаратами гидролитических ферментов) или углекислотное экстрагирование (с применением жидкого диоксида углерода).



Рис. 1. Внешний вид зародышей пшеницы

Анализ вариантов методов экстрагирования предполагает определенные недостатки, а именно экологическую загрязненность и существенные экономические затраты, связанные с удалением остаточного количества растворителей из масла. Поэтому доведение экстрагированного масла зародышей пшеницы до товарной кондиции ставит в той или иной степени под сомнение его биологическую ценность по сравнению с исходным сырьем и значительно увеличивает стоимость по сравнению с маслом, полученным методом прессования. Однако, стоит отметить, что при бесспорно более высоких качественных показателях масла, полученного методом прессования (оно не имеет постороннего запаха и привкуса, оставшегося после процесса экстрагирования растворителями), выход его значительно меньше (2–5 % от исходного сырья). В связи с вышесказанным, авторы в своей работе остановили выбор на исследовании масла, полученного методом холодного прессования, ввиду его большей экологичности, хотя выход такого масла существенно ниже. Масло пшеничных зародышей обладает ценнейшим жирнокислотным составом (табл. 1). Данные таблицы 1 подтверждают высокое содержание в масле омега-3 и омега-6 жирных кислот, важность которых не оставляет сомнений и согласуется с множеством данных их востребованности во многих сферах применения, в том числе подтвержденными медицинской практикой и экспериментами *in vivo* и *in vitro*. Известно, что при правильном

соотношении линолевая и линоленовая кислоты активно участвуют в процессах липидного обмена, обладают высокой антиоксидантной активностью, замедляют развитие опухолевых процессов в живых тканях, а также усиливают эффект лучевой терапии и химиотерапии онкобольных, повышают качество жизни живых систем (Шевцов и др., 2008; Родионова и др., 2014; Вишняков и др., 2018).

Таблица 1

Состав жирных кислот масла пшеничных зародышей
(литературные данные / данные авторов)

Наименование жирной кислоты	Количество, мг/г
Миристиновая	1,0–2,0 / 1,8
Линолевая	350,0–450,0 / 354,2
Линоленовая	110,0–112,0 / 111,7
Олеиновая	110,0–113,0 / 112,3
Пальмитиновая	135,0–145,0 / 141,1
Стеариновая	5,0–6,0 / 5,8
Эруковая	20,0–23,0 / 22,1

Наиважнейшим редким природным компонентом масла считается поликозанол, обобщенные сведения подтверждают, что его содержание находится в пределах 1,5–8,5 мг/100 г. Поликозанол оказывает положительное влияние на липидный обмен, вязкость тромбоцитов крови и метаболизм холестерина липопротеинов низкой плотности, существенно его расщепляя и тем самым увеличивая концентрацию липопротеинов высокой плотности в живых системах. Он подавляет агрегацию тромбоцитов, оказывая антиагрегационный эффект на сосуды, существенно влияет на пролиферацию мышечных тканей, способствует активному потреблению ими кислорода, поэтому имеет положительные предпосылки для профилактики и лечения атеросклероза, склерозирования артерий, болезней сердечно-сосудистой системы, нервно-мышечных заболеваний.

В масле пшеничных зародышей присутствует значительное количество жирорастворимых витаминов, обобщенные литературные и экспериментальные свидетельства свидетельствуют, что из множества масел растительного происхождения зародышевое отличается аномально высоким содержанием токоферола (150–450 мг/100 г), также в нем присутствуют в ощутимых количествах витамины, мг/100 г: А (1–3), D (1–2), В₃ (11–16) и В₉ (2–4). Для сравнения, содержание витамина А в пищевых маслах растительного происхождения находится в интервале 0,0005–0,001 мг/100 г, в рафинированных он отсутствует совсем, при этом в зародышевом масле его количество достигает до 3 мг/100 г. На витамин Е в традиционных растительных маслах по различным источникам приходится от 5 до 50 мг/100 г, а в объекте исследований содержание этого ценного нутриента в 3–9 раз выше. О положительном влиянии на организм человека и животных витаминов группы В, А, D и Е существует множество данных, однако следует отметить, что механизм воздействия при их потреблении в синтетическом или нативном виде на органы и системы жизнеобеспечения, однозначно, происходит по-разному.

Ниже представлены обобщенные экспериментальные данные и сведения различных источников о физико-химических показателях зародышей пшеницы, а также масла и жмыха (табл. 2–3), из которых следует, что в жмыхе присутствует меньшее количество влаги и липидной фракции за счет выделенного (до 5 %) масла.

В жмыхе присутствует практически полностью весь спектр природных нутриентов пшеничных зародышей, при том, что их усвояемость живыми системами организма значительно выше в результате влияния множества процессов, возникающих при воздействии высокого давления и жесткой деформации на низкомасличное сырье при прессовании. В процессе отжима масла, отруби переходят в жмых, с этим связано более высокое наличие в

нем пищевых волокон по сравнению с зародышами, которые нельзя отнести к источнику энергии и биологически активных веществ, но они выполняют важные задачи в процессах пищеварительного тракта, служат естественными пребиотиками, присутствуют только в растительных тканях и их наличие оказывает положительное влияние на системы жизнеобеспечения. При этом табличные данные подтверждают, что исходные зародыши и жмых содержат в своем составе значительное количество масла с биологически активными компонентами и могут считаться перспективными обогатителями для множества пищевых систем.

Таблица 2

Физико-химические показатели масла пшеничных зародышей
(литературные данные / данные авторов)

Наименование показателя	Величина показателя при 20–22 °С
Йодное число, г йода/100 г	111,0–130,0 / 111,7
Кислотное число, мгКОН/г	5,5–10,0 / 6,1
Массовая доля влаги и летучих веществ, %	0,1–0,5 / 0,1
Массовая доля неомыляемых веществ, %	2,0–4,0 / 2,2
Массовая доля фосфоросодержащих веществ, в пересчете на стеаролеолецитин, %	0,05–0,20 / 0,06
Перекисное число, мМ/кг	2,5–10,0 / 2,8
Плотность, г/см ³	0,926–0,928 / 0,926
Цветное число, мг йода	33,0–55,0 / 34,0

Таблица 3

Физико-химические показатели жмыха и зародышей пшеницы
(литературные данные / данные авторов)

Наименование показателя, компонента	Зародыши пшеницы	Жмых зародышей пшеницы
Влага, %	11,0–15,0 / 14,2	3,0–6,0 / 3,4
Кислотное число, мгКОН/г	6,0–15,0 / 6,5	6,0–13,0 / 6,2
Перекисное число, мМ/кг	2,0–10,0 / 2,8	2,0–10,0 / 2,7
Жир, %	9,0–13,0 / 12,2	7,0–11,0 / 8,1
Зола, %	3,0–4,0 / 3,4	4,0–5,0 / 4,3
Углеводы, %	34,0–45,0 / 44,1	39,0–48,0 / 47,2
Белок, %	29,0–37,0 / 31,7	33,0–39,0 / 33,8
Пищевые волокна, %	1,0–3,0 / 1,6	1,0–4,0 / 1,9

Характеристика и состав белковой составляющей жмыха и зародышей показывает, что она обладает высокой пищевой и биологической ценностью (табл. 4). Состав аминокислот показывает, что более 30 % в них относится к незаменимым аминокислотам. По свойствам белки продуктов глубокой переработки пшеницы приближаются к белкам животного происхождения, что существенно расширяет сферу их применения для конкретных категорий потребителей.

Следует также акцентировать внимание на том, что жмых и зародыши продуктов переработки пшеницы обладают уникальным составом минералов. В них обнаружены более 20 макро- и микроэлементов, наиболее значимые по сводным результатам экспериментов и данных литературных источников представлены в таблице 5.

Выяснено, что после извлечения масла из зародышей около 40–50 % жирорастворимых витаминов из них выделяется в составе липидной составляющей, однако в жмыхе остаточное

Таблица 4

Состав аминокислот жмыха и зародышей пшеницы
(литературные данные / данные авторов)

Наименование аминокислоты	Содержание, г/100 г
Незаменимые	
Валин	1,5–2,5 / 1,78
Изолейцин	1,0–2,0 / 1,11
Лейцин	2,0–2,5 / 2,11
Лизин	2,0–2,5 / 2,25
Метионин	0,5–1,5 / 0,71
Треонин	1,4–2,5 / 1,44
Триптофан	0,1–0,5 / 0,20
Фенилаланин	1,0–2,0 / 1,19
Заменимые	
Аланин	2,0–2,5 / 2,10
Аргинин	2,5–3,5 / 2,90
Аспарагиновая кислота	3,0–3,5 / 3,10
Гистидин	0,5–1,0 / 0,67
Глицин	2,5–3,0 / 2,71
Глутаминовая кислота	6,5–7,0 / 6,67
Пролин	2,5–3,0 / 2,33
Серин	2,0–2,5 / 2,05
Тирозин	0,3–1,0 / 0,35
Цистин	0,1–0,5 / 0,13

Таблица 5

Минеральный состав жмыха и зародышей пшеницы
(литературные данные / данные авторов)

Наименование компонента	Содержание, мг/100 г
Цинк	17–25 / 20
Марганец	10–30 / 27
Магний	30–40 / 38
Кальций	600–800 / 780
Железо	7–11 / 8
Натрий	1–2 / 1
Калий	500–1200 / 1100
Селен	0,01–0,02 / 0,02
Фосфор	1310–1350 / 1320

количество масла составляет примерно 6–8 % и доля этих витаминов весьма существенна. Наличие и количественная характеристика витаминной фракции зародышей и жмыха представлены в таблице 6, польза и значимость которых для людей и животных, учитывая их происхождение, не вызывает сомнений. Из таблицы 6 следует, что состав и количество витаминов в побочных продуктах переработки семян пшеницы можно считать очень перспективным и прогнозируемо обеспечиваемым их широкие возможности к использованию.

К сожалению, ввиду быстрой порчи пшеничных зародышей, их не выделяют в отдельную фракцию, а помещают в отруби. Снижение качества зародышей в течение короткого времени (первые 3–5 суток после получения) связано с наличием в их составе липидной фракции содержащей, как было выяснено выше, существенное количество непредельных липидов, имеющих двойные связи, по месту которых под влиянием ферментов легко присоединяется кислород воздуха. Свежевыработанные зародыши пшеницы обладают высокой влажностью, в результате действия липазы в условиях оптимальных для нее температур происходит гидролиз липидов с образованием свободных жирных кислот и дальнейшее интенсивное окисление последних в присутствии кислорода воздуха с образованием гидроперекисей. Далее, при участии липоксигеназы параллельно идет глубокий распад гидроперекисей жирных кислот на продукты кислой природы. На следующем этапе в результате воздействия каталазы процесс распада интенсифицируется и приводит к выделению кислорода, ускоряющего окислительные процессы, приводящие к цепной реакции образования перекисей и гидроперекисей под сопряженным воздействием липазы, липоксигеназы и каталазы. Эффект растет в геометрической прогрессии в связи с высокой обсемененностью микроорганизмами, в результате жизнедеятельности которых при благоприятных влажных условиях окружающей среды и повышенной температуре воздуха процессы окисления становятся быстротекущими. В результате вышеприведенных процессов зародыши приобретают посторонний запах, горький вкус, снижается сыпучесть, изменяется цвет, изменяется нутриентный состав, снижается пищевая и биологическая ценность (Корнеева и др., 2003; Шевцов и др., 2004; Zherebtsov, 2000, 2001, 2005).

Таблица 6

Состав витаминной фракции жмыха и зародышей пшеницы
(литературные данные / данные авторов)

Наименование компонента	Содержание, мг/100 г	
	Зародыши пшеницы	Жмых зародышей пшеницы
Витамин А	0,7–0,9 / 0,7	0,6–0,8 / 0,6
Витамин D	0,9–1,0 / 0,9	0,6–0,9 / 0,7
Витамин Е	33–35 / 33,1	28–31 / 30,1
Витамин В ₁	2,5–3,0 / 2,9	2,8–3,2 / 3,0
Витамин В ₂	0,6–0,7 / 0,7	0,5–0,6 / 0,6
Витамин В ₅	7,0–8,0 / 7,9	8,0–9,0 / 8,9
Витамин В ₃	15,0–16,0 / 15,1	14,0–15,0 / 14,9
Витамин В ₉	3,0–3,5 / 3,3	2,0–2,5 / 2,2
Витамин В ₆	0,9–1,0 / 0,9	1,0–1,2 / 1,0

Авторы предлагают новый, достаточно дешевый способ сохранения качества зародышей пшеницы. Зародыши в начале подвергаются очистке от металломагнитных примесей и для повышения концентрации продукта за счет удаления частиц отрубей и муки просеиваются на металлотканых ситах № 1 и № 045. Далее обогащенный продукт, являющийся сходом сита № 045 и проходом сита № 1, проходит стадию стабилизации. На следующем этапе взвешенные зародыши пшеницы подают в смеситель, где продукт перемешивается в течение 30 минут и подвергается воздействию ультрафиолетового излучения, в качестве источника излучения используется ультрафиолетовая лампа с длиной волны 254 нм. Затем в смеситель подается стабилизатор в количестве 5 % от массы продукта, смешивание продолжается еще 4 минуты. Стабилизацию продукта, приводящую к снижению активности ферментов и снижающую микробиологическую обсемененность, осуществляют смесью аскорбиновой и янтарной кислот в соотношении 7:3 в количестве 5 % к массе зародышей. Преимуществом предлагаемого способа считается то, что наряду с сохранением исходных качественных

показателей продукта, происходит повышение его пищевой ценности за счет свойств вносимых консервантов, позволяющих расширить ассортимент специализированных продуктов с включением зародышей, обладающих лечебно-профилактическим действием и увеличенным сроком хранения (Алексеева и др., 2013; Родионова и др., 2015).

Свойства янтарной кислоты известны, это сильный антиоксидант, стимулирующий процесс поступления кислорода в клетки, облегчает стресс, восстанавливает энергообмен, нормализует процесс производства новых клеток, обладает общеукрепляющими и восстанавливающими свойствами. Способствует усилению иммунитета, ингибирует рост и развитие опухолей, предупреждает деление злокачественных клеток. Янтарная кислота снижает производство основного медиатора воспалений и аллергических реакций – гистамина. Янтарная кислота признана полностью безвредным веществом, её препараты часто назначают для обезвреживания определённых токсинов (этанола, никотина), она повышает питательную ценность основных пищевых компонентов и усиливает эффект медикаментов. Эти свойства определяют её как очень полезную пищевую добавку, способствующую восстановлению работы всех органов и систем организма, ускорению восстановления и поддержанию естественного баланса его жизнедеятельности. Аскорбиновая кислота или витамин С широко применяется. Аскорбинка необходима для формирования волокон коллагена, для защиты тканей организма от свободных радикалов, ее используют как общеукрепляющее и стимулирующее иммунную систему средство при различных болезнях (простудные, онкологические), а также при недостаточном поступлении с пищей. Ее также используют при отравлении угарным газом, она переводит трёхвалентное железо в двухвалентное, тем самым способствует его всасыванию, тормозит гликозилирование гемоглобина и замедляет превращение глюкозы в сорбит. Аскорбиновая кислота является мощным антиоксидантом, нормализует окислительно-восстановительные процессы. В России янтарная и аскорбиновая кислоты разрешены для использования в пищевой и ветеринарной промышленности. Таким образом, применение данных пищевых кислот в качестве стабилизаторов зародышей пшеницы не только увеличивает их срок хранения, но и придает продукту дополнительные функциональные свойства. При этом, эти органические кислоты являются технологичными продуктами, что не мало важно при использовании в условиях производства. Обе кислоты представляют собой белый сыпучий кристаллический порошок, в процессе эксперимента выяснено, что процесс смешивания кислот с продуктом характеризуется высоким коэффициентом вариации (менее 1). Оба стабилизатора имеют кислый вкус и при добавлении в диапазоне 2–6 % не оказывают негативного влияния на органолептические показатели зародышей пшеницы, что позволяет в дальнейшем применять их в широком диапазоне (Тимирханова, 2007; Степанова и др., 2010; Шахмарданова и др., 2016; Сагдеев и др., 2020).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа информационных источников и полученных результатов экспериментальных исследований по определению состава, физико-химических характеристик, пищевой и биологической ценности побочных продуктов мукомольных заводов – зародышей пшеницы и продуктов их вторичной переработки выяснено, что они обладают высокой пищевой и биологической ценностью. При этом их состав существенно различается в зависимости от года, района произрастания, сортовой принадлежности и состава помольной партии семян пшеницы. Важно отметить, что продукты глубокой переработки мукомольного производства в настоящее время используются недостаточно эффективно ввиду низкой хранимоспособности при наличии в них целого спектра эссенциальных составляющих, включающих витамины витаминов А, D, E, группы B, макро и микроэлементы, поликозанол, пентозаны, пищевые волокна и другие биологически активные вещества. Предлагается своевременное применение существующих технологий и режимов хранения данных видов перспективного отечественного сырья, наиболее приемлемых в конкретных условиях определенного предприятия и предполагаемых

направлений дальнейшего использования этого перспективного вида сырья, в том числе способ стабилизации, разработанный авторами статьи, заключающийся в следующем. Пшеничные зародыши проходят очистку от металломагнитных примесей, подвергаются ультрафиолетовому излучению и смешиваются со смесью аскорбиновой и янтарной кислот в определенной концентрации. Предлагаемый вариант базируется исключительно на принципах экологичности и импортозамещения. Предложенный авторами способ, наряду с другими, позволяет расширить дальнейшее применение продуктов глубокой переработки мукомольных заводов в различных отечественных отраслях и направлениях пищевого производства, нутрициологии, лечебно-профилактическом и специальном питании, медицинской отрасли, ветеринарии, производстве кормов для животных.

Список литературы

- Алексеева Т. В., Калгина Ю. О., Науменко В. Б., Ларина Т. П. Перспективы производства пищевой продукции функциональной направленности с фракциями глубокой переработки отечественного низкомасличного сырья // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2016. – Т. 12, № 4. – С. 58–62.
- Алексеева Т. В., Попова Н. Н., Корыстин М. И. Пшеничные зародыши в лечебно-профилактическом питании // Питание и общество. – 2010. – № 10. – С. 15–22.
- Алексеева Т. В., Калгина Ю. О., Евлакова В. С., Малакова Л. А. Биологически активная добавка для питания женщин в период беременности из отечественного вторичного сельхозсырья // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2018. – № 4. – С. 10–19.
- Алексеева Т. В., Родионов А. А., Калгина Ю. О., Веснина А. А. Вторичные отечественные сырьевые ресурсы низкомасличного сырья в секторе HoReCa // Экономика. Инновации. Управление качеством. – 2014. – Т. 9, № 4. – С. 43–44.
- Алексеева Т. В., Калгина Ю. О., Раздобарина Н. В., Бокарев Д. А. Расширение ассортимента молочной продукции путем применения вторичных ресурсов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2017. – № 10. – С. 37–40.
- Алексеева, Т. В. Хранение зародышей зерна пшеницы с применением аскорбиновой и янтарной кислот // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2013. – № 10. – С. 28–30.
- Алексеева Т. В., Калгина Ю. О., Фурсова А. П. Перспективы использования продуктов глубокой переработки отечественного сырья в рационах питания лечебно-профилактической направленности // Товаровед продовольственных товаров. – 2019. – № 9. – С. 69–74.
- Бабаев С. Д. Определение содержания зародыша в продуктах помола пшеницы и рациональная технология их стабилизации // Хлебопродукты. – 2012. – № 5. – С. 16–18.
- Вишняков А. Б., Власов В. Н., Родионова Н. С., Алексеева Т. В. Зародыш здоровья. – Воронеж: ВГУИТ, 2018. – 286 с.
- Ведерникова Е. И., Сабитова Т. В. Применение текучего пара при хранении зернопродуктов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2010. – № 1. – С. 12–17.
- Вишняков А. Б., Власов В. Н., Спесивцев А. С., Жалнин В. Н. Комплексная переработка зародышей пшеницы // Пищевая промышленность. – 1996. – № 8. – С. 50–55.
- Корнеева О. С., Зяблова Т. В., Капраничов В. С. Пшеничный зародыш: первопричина порчи // Хлебопродукты. – 2003. – № 1. – С. 24–25.
- Максимчук Б., Коломенский С. Производство пшеничного зародыша // Хлебопродукты. – 1995. – № 3. – С. 16–20.
- Махмудов Р. А., Мажидов К. Х., Макиенко Ю. И., Абдуллаев Н. И. О зародышевых хлопьях зерна пшеницы // Пищевая промышленность. – 2009. – № 3. – С. 16–18.
- Пикус Б., Спесивцев А., Жалнин В. Пшеничные зародыши в качестве кормового продукта // Комбикормовая промышленность. – 1998. – № 4. – С. 34–35.
- Родионова Н. С., Алексеева Т. В., Корыстин М. И., Саблин А. Г., Родионов А. А., Зяблов М. М. Патент РФ № 2569421 «Способ производства продукта на основе пшеничных зародышей». – 2015. – 5 с.
- Родионова Н. С., Алексеева Т. В., Попова Н. Н., Попов Е. С. Разработка растительной комплексной пищевой системы на основе продуктов переработки зародышей пшеницы сбалансированного жирнокислотного состава // Фундаментальные исследования. – 2013. – Т. 8, № 11. – С. 1594–1597.
- Родионова Н. С., Алексеева Т. В. Современная теория и технология получения, обработки и применения продуктов комплексной переработки зародышей пшеницы // Вестник ВГУИТ. – 2014. – № 4. – С. 99–109.
- Сагдеев Д. Р., Тимофеева С. Н. Применение янтарной кислоты и модифицированного бентонита для профилактики отравления животных тяжелыми металлами // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины. – 2020. – № 3. – С. 215–218.
- Степанова Е. Н., Табаторович А. Н. Возможность использования янтарной кислоты в технологии производства мармелада // Техника и технология пищевых производств. – 2010. – № 2. – С. 8–12.

- Тарутин П. П. Опыт применения инфракрасных лучей для сушки зернопродуктов // Сообщения и рефераты ВНИИЗ. – 1999. – Вып. 1. – С. 31–33.
- Тимирханова Г. А., Абдуллина Г. М., Кулагина И. Г. Витамин С: классические представления и новые факты о механизмах биологического действия // Вятский медицинский вестник. – 2007. – № 4. – С. 158–163.
- Шахмарданова С. А., Гулевская О. Н. Препараты янтарной и фумаровой кислот как средства профилактики и терапии различных заболеваний // Фундаментальная медицина и биология. – 2016. – № 3. – С. 16–19.
- Шевцов А. А., Зяблова Т. В., Дятлов В. А., Капранчиков В. А., Бондаренко О. А. Способы стабилизации пшеничных зародышей // Комбикорма. – 2004. – № 5. – С. 45–47.
- Шевцов А. А., Фролова Л. Н., Мажидов Р. М. Стабилизация ферментативной активности сырья растительного происхождения с использованием искусственного холода // Автоматизация и современные технологии. – 2009. – № 1. – С. 64–67.
- Шевцов А. А., Зяблова Т. В., Бондаренко О. А., Фролова Л. В. Применение стабилизированных пшеничных зародышей в качестве наполнителя премиксов // Фундаментальные исследования. – 2005. – № 4. – С. 88–89.
- Шевцов А. А., Алексеева Т. В. Пшеничные зародыши. – Воронеж: ВГТА, 2008. – 251 с.
- Alekseeva T., Mageramova Z., Malikova T., Zyablov M. Development of formulations enriched meat products in applying the secondary fractions of grain processing // Journal of EcoAgriTourism. – 2014. — Vol. 10, N 2. – P. 49–52.
- Alekseeva T. V., Kalgina Y. O., Zyablov M. M. Study of the sorption process phytosorbents meal wheat germ cake in technological media // Journal of Advanced research in technical science. – 2016. – N 1. – P. 91–95.
- Barnes H. M. Composition of cereals germ preparations // Lebensmittel-Untersuchung und Forschung. – 2013. – N 6. – P. 467–471.
- Vukobradovic R., Psodorov D. Stabilization of wheat germ and its application in the food industry // Cereals. – 2011. – N 1. – P. 135–142.
- Grandel F. Debittering of cereal seed germs // Chemical Abstracts. – 2009. – N 53. – P. 9514–9517.
- Zherebtsov N. A., Popova T. N., Zyablova T. V. Fumaric acid is competitive inhibitor of wheat germ lipoxygenase // Biochemistry. – 2000. – Vol. 65, N 5. – P. 620–621.
- Zherebtsov N. A., Zyablova T. V., Popova T. N. Identification of catalytically active groups of wheat germ lipoxygenase // Applied Biochemistry and Microbiology. – 2001. – Vol. 37, N 2. – P. 145–149.
- Shevtsov A. A., Zyablova T. V., Kapranchikov V. A., Bondarenko O. A. The effect of pH and temperature on the activity and stability of lipase and lipoxygenase of wheat seed germ // Biotechnology. – 2005. – N 3. – P. 66–73.

Alekseeva T. V., Ponachugin A. V., Davydova Y. Y., Orlova A. I., Belokurova E. V., Apalikhina O. A., Novik I. R., Veselova A. Y., Albycheva L. A. Aspects of deep processing of domestic raw materials on the example of by-products of flour mills on the principles of environmental sustainability and import substitution // Ekosistemy. 2023. Iss. 36. P. 7–17.

The article discusses aspects of more efficient use of by-products from flour mills – wheat germ and products of their deep processing. In the current context, there is a pressing need to implement technologies for deep and comprehensive processing of domestic agricultural raw materials in all spheres of life, based on the principles of import substitution and ecological sustainability, which are currently underutilized in the existing economic situation. By-products of flour mills – wheat germ and products of their secondary processing – have high nutritional and biological value, contain a whole range of essential components, including vitamins A, D, E, group B, macro and microelements, policosanol, pentosans, dietary fiber and other biologically active substances. The composition of wheat germ and products of their processing varies significantly depending on the year, area of growth, variety and the composition of the milling batch of wheat seeds. Products of deep processing of flour milling are currently not used effectively due to low storage capacity despite containing a range of essential components and bioactive substances. The article proposes timely application of existing technologies and modes of storage for such domestic raw materials, which are most acceptable for the specific conditions of a particular enterprises and intended directions for further utilization of this promising type of raw material. This includes the method of stabilization developed by the authors of the article, involving cleaning of raw materials from metal and magnetic impurities, ultraviolet radiation, and mixing with a mixture of ascorbic and succinic acids in a certain concentration. The method proposed by the authors, along with others, makes it possible to expand the further application of products of deep processing of flour mills in various domestic industries and areas of food production, nutrition, therapeutic and prophylactic and special nutrition, the medical industry, veterinary medicine, and the production of animal feed.

Key words: products of deep processing of flour mills, import substitution, environmental sustainability.

Поступила в редакцию 30.05.23

Принята к печати 26.06.23

Применение геоботанических методов для изучения донной растительности Чёрного моря

Павшенко Д. А.

*Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН
Севастополь, Россия
darya.pavshenko@mail.ru*

В работе представлен аналитический обзор геоботанических методов исследований, используемых для изучения состояния донной растительности, пространственной и вертикальной структуры фитоценозов. Приведены данные об основных структурно-функциональных показателях макрофитобентоса, отличающихся наиболее выраженным откликом на изменение качества среды (видовое разнообразие, удельная поверхность, биомасса, плотность или численность, соотношение групп водорослей по продолжительности жизненного цикла и другие). Проанализировано использование различных индексов для анализа состояния донных фитоценозов, ценопопуляций ключевых и охраняемых видов макрофитов в различных экологических условиях, для выявления степени их устойчивости и/или нарушенности и способности к восстановлению. Результаты исследования могут быть использованы для решения фундаментальных и прикладных задач по сохранению донной растительности и выработке комплекса мер по защите прибрежных экосистем от антропогенного воздействия и других негативных факторов.

Ключевые слова: макрофиты, геоботанические методы, структура фитоценозов, показатели макрофитобентоса, Чёрное море.

ВВЕДЕНИЕ

Макрофитобентос морей и океанов играет важную роль в прибрежных экосистемах, являясь их основным продукционным и ключевым звеном. Для Чёрного моря выделено 40 ассоциаций, фитоценозы которых распространены на глубинах до 60 м. К настоящему времени многие элементы их структуры изучены достаточно подробно (Калугина-Гутник, 1975; Евстигнеева, 1983, 1990; Мильчакова, Петров, 2003; Мильчакова, 2003, 2015; Ковардаков, Празукин, 2010; Ковардаков и др., 2012; Садогурский, Садогурская, 2013; Костенко и др., 2018). Известно, что для 11 донных фитоценозов характерна многоярусная структура, наибольшей видовой насыщенностью отличается многолетние цистозировые фитоценозы, доминирующих в растительном покрове большинства прибрежных районов Чёрного моря (Морозова-Водяницкая, 1959; Калугина-Гутник, 1975). В составе макрофитобентоса описаны виды, имеющие высокий охранный статус (Habitats Directive 92/43/ЕЕС; Natura, 2000; Gubbay et al., 2016), занесенные в Красные книги Чёрного моря (The Black Sea., 1999), Российской Федерации (2008), Республики Крым (2015), Краснодарского края (2017) и города Севастополя (2018).

В связи с необходимостью сохранения водных биологических ресурсов, продуктивности прибрежных экосистем, их трофических связей, особенно в условиях возросшего антропогенного воздействия, необходима интенсификация изучения морского макрофитобентоса, структурные элементы могут служить биомаркерами состояния ценопопуляций ключевых и охраняемых видов (Максимова, Лучина, 2002; Мильчакова, 2003, 2007; Мильчакова и др., 2011), а также среды их обитания (Евстигнеева, 1990; Мильчакова, 2003, 2007, 2015; Мильчакова, Петров, 2003; Симакова, 2009; Костенко и др., 2018; Чернышева, 2019). Поскольку под влиянием как природных, так и антропогенных факторов происходит изменение функциональных параметров макроводорослей и структуры донных фитоценозов, (Карманова, 1983; Мильчакова, Петров, 2003; Merzouka, Johnson, 2011), то анализ степени их устойчивости и/или нарушенности может способствовать решению фундаментальных и прикладных задач по сохранению

донной растительности и выработке комплекса мер по защите прибрежных экосистем от негативных факторов, включая антропогенный.

В связи с этим, цель работы заключалась в выполнении аналитического обзора геоботанических методов исследований, используемых для изучения донной растительности, и их применения для выявления структуры и трансформации фитоценозов под воздействием различных экологических факторов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Структура фитоценозов

Согласно Т. А. Работнову (1968, 1992), под структурой фитоценоза понимается его конституционное, пространственное и функциональное строение, включающее видовой, популяционный и эколого-биологический состав, фитоцено типы и ценогенетические группы. По мнению В. В. Мазинга (1988), при изучении пространственной и функциональной структуры фитоценозов следует учитывать все ценоэлементы, их взаимное расположение и совокупность связей между ними. Б. М. Миркин (1986), развивая учение о горизонтальной неоднородности сложения растительных сообществ (Сахаров, 1950; Работнов, 1968), выделяет горизонтальную структуру фитоценоза, как совокупность микрогруппировок, и вертикальную, которая им трактуется как «разновысотность растений» и «разноглубинность». Позже, Т. А. Работнов (1968) отмечает, что отличительной особенностью ярусной структуры фитоценозов является свойственный им определенный видовой состав и нахождение растений на разных стадиях их жизненного цикла в разных ярусах. Поэтому понятие вертикальной структуры фитоценозов и ярусности чаще всего трактуется с двух основных позиций: исходя из жизненных форм видов (Шенников, 1964; Ярошенко, 1969) и из расположения их надземных и подземных структурных частей (Воронов, 1973; Работнов, 1983). В. В. Алехин (1938) понимал ярусность как неодновременную активность компонентов биогеоценоза, состав и структура ярусов которой могут быть подвержены сезонным и межгодовым изменениям (Зайдельман, 2006). Общепризнано, что ярусная дифференциация является важнейшей морфологической и экологической характеристикой фитоценоза, а ярусное расположение растений увеличивает устойчивость сообществ и способствует снижению конкуренции (Ипатов, Кирикова, 1997). Расчленение фитоценоза по ярусам обусловлено способностью адаптации растений к условиям обитания и факторам среды (Шаповалова, 2015). При изучении ярусной структуры сообществ важно учитывать также, что произрастание растения в соответствующем ярусе – это фитоцено тически обусловленное явление, определенный эволюцией комплекс адаптаций (Раменский, 1953, 1971).

При изучении Чёрного моря впервые термин фитоценоз был применен Н. В. Морозовой-Водяницкой (1959), а затем А. А. Калугиной-Гутник (1961, 1975) при классификации донной растительности. Большинство исследователей рассматривают фитоценоз в соответствии с терминологией В. Н. Сукачева (1972). Начало изучения вертикальной структуры донных фитоценозов связано с работами В. Б. Возжинской (1957), Н. В. Морозовой-Водяницкой (1959) и А. А. Калугиной-Гутник (1975). Позднее данные о ней были представлены в работах Н. А. Мильчаковой (2003, 2015), И. И. Маслова (2003), Д. Ф. Афанасьева (2004), М. Ю. Сабурин (2004), В. Ф. Теюбовой (2012) и других. Показано, что синузиды видов разных ярусов и их эпифитные синузиды являются важнейшими структурными элементами донных фитоценозов (Мильчакова, 2015). Их роль в ключевом цистозировом фитоценозе наиболее высока, пример его вертикальной структуры приведен на рисунке 1.

Синузиды в донных фитоценозах рассматриваются также по Т. А. Работнову (1983), как его структурно-экологическая часть определенного видового состава, имеющая морфоструктурную, биотипическую, экотипическую и функциональную характеристики (Ганнибал, 2011). Для синузидов эпифитирующих водорослей в многолетних фитоценозах

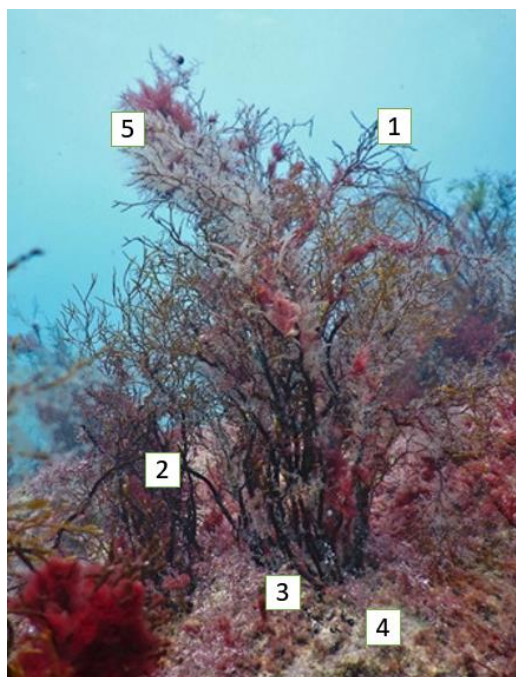


Рис. 1. Многоярусная вертикальная структура цистозирового фитоценоза в Чёрном море (мыс Фиолент, глубина 3 м) (фото С. С. Ракша)

1 – первый ярус, *Ericaria crinita*; 2 – второй ярус, *Cladostephus spongiosus*; 3 – третий ярус, *Gelidium spinosum*; 4 – четвертый ярус, корковые водоросли; 5 – эпифитные синузиды эрикарии (название цистозирового фитоценоза приведено в соответствии с классификацией (Калугина-Гутник, 1975).

характерны комменсальные или симбиотические отношения с видом-хозяином (литофитом или базиофитом) (Виноградова, 1989), которые изменяются в зависимости от качества среды (Евстигнеева, 1990; Клочкова, Березовская, 2001; Мильчакова, 2003, 2015; Мильчакова, Петров, 2003; Симакова, 2009; Чернышева, 2019).

Так, в условиях эвтрофирования зафиксирована декумбация верхних ярусов видов-доминантов и возрастание роли эпифитов в ключевых донных фитоценозах Японского и Чёрного морей (Фудзита, 1987, 1989; Болконская, Шпакова, 1999; Мильчакова, Петров, 2003; Мильчакова, 2015). До сих пор причины декумбации неизвестны, поэтому изучение экологических факторов, влияющих на перестройку донных фитоценозов, представляет значительный научный интерес.

Методы изучения структуры донных фитоценозов

Метод геоботанического описания. При изучении структуры донных фитоценозов в традиционно применяют метод гидрботанических разрезов (Калугина-Гутник, 1969; Громов, 1973), которые соответствуют геоботаническим профилям в наземной фитоценологии (Полевая ботаника, 1964). На каждом разрезе выделяют пробные площадки, под которыми понимают учётные единицы разных размеров и формы (Браун, 1957; Полевая геоботаника, 1964), что определяется целью и задачами исследования.

Согласно геоботаническим методам, модифицированным для изучения макрофитобентоса Чёрного моря, при анализе структуры донных фитоценозов учитывают их видовой состав, в том числе, для ярусов и синузид, общее проективное покрытие, проективное покрытие видов-доминантов, встречаемость, ярусность, жизненные формы (литофиты и эпифиты), численность, биомассу и размерно-массовую структуру ключевых видов и/или литофитов (Калугина-Гутник, 1975; Маслов, 1990; Хайлов и др., 1992; Миничева и др., 1998).

Для выявления особенностей пространственного распространения донных фитоценозов и их распределения по глубинам проводят учёт их количественных показателей (биомасса, обилие, численность). Для этого в границах фитали (зона распространения макрофитов) выявляют следующие зоны: псевдолитораль (0–0,1 м), верхняя сублитораль (0,5–1 м), средняя (3–5 м) и нижняя (5–15 м) (Калугина-Гутник, 1975). На каждой станции (глубине) описывают границы фитоценозов по геоморфологическим особенностям дна и особенности их горизонтального и вертикального распределения, глазомерно оценивают проективное покрытие и обилие видов (Петров, 1961). Для определения видового состава фитоценоза отбирают одну или две качественные пробы, для оценки количественных показателей используют учетные рамки различной площади, закладывая их в четырехкратной повторности (Калугина-Гутник, 1969; Громов, 1973). Размер учетных рамок зависит от типа донной растительности, состава и структуры фитоценозов (Браун, 1957; Понятовская, 1964). Общепринятыми в исследованиях макрофитобентоса являются учетные площадки 10×10, 25×25 и 50×50 см (Калугина-Гутник, 1969; Громов, 1973), которые закладывают в границах пробной площади размером 5×5; 10×10 или 20×20 м, выделяемой по методике, принятой для наземных фитоценозов (Василевич, 1969). Учетные площадки в границах пробной площади отбирают случайно, систематически или комбинированно (Зайцев, 1963).

Встречаемость видов определяют по доле (в %) пробных площадок, на которых они произрастают, от общего количества обследованных площадок. Методы учёта обилия видов базируются на балльных шкалах О. Друде и А. А. Уранова, их градации выделяют глазомерно (Полевая геоботаника, 1964). Основным показателем обилия принято считать численность и биомассу видов, их плотность, покрытие, занимаемый объём (Шенников, 1964; Василевич, 1969).

Стоит отметить, что в связи с большой трудоёмкостью работ, в морской фитоценологии обычно используют методы относительного учёта обилия доминантов и эдификаторов, в основном по их процентному соотношению в общей биомассе фитоценоза. В последние годы также применяют специальные методы исследования донных природных комплексов, в том числе, дистанционные, проводят фото- и видеофиксацию, что не оказывает на них воздействия (Карнаухов, 2014). Это имеет особое важное значение при изучении донной растительности охраняемых акваторий в границах особо охраняемых природных территорий (ООПТ).

Для целей мониторинга и выявления причин изменения донных фитоценозов в разных экологических условиях выполняют сравнительный анализ условий произрастания макрофитов, от которых зависит их функционирование. К основным экологическим факторам среды относятся температурный режим, солёность, освещённость, прозрачность, скорость течения, состав и структура донных осадков и водных масс (Шуканов, 2009). К негативным антропогенным факторам, вызывающим деградацию фитоценозов, большинство исследователей относят эвтрофикацию, промысел гидробионтов, разрушение биотопов, рекреацию, увеличение транспортных потоков и другие (Jackson, 1977; Заика, 1992; Мильчакова, 2001; Мильчакова и др., 2015; Костенко и др., 2018).

Методы определения структурно-функциональных показателей и дифференциации. При изучении вертикальной и пространственной структуры донных фитоценозов используют методы учёта показателей, позволяющие охарактеризовать их состояние, продукционный потенциал, степень устойчивости или трансформации. Для макрофитов, как первичных продуцентов, одним из основных показателей является биомасса (сырая, абсолютно-сухая или воздушно-сухая), которую рассчитывают с учётом данных о проективном покрытии (Катанская, 1960, Калугина-Гутник, 1975, Кокин, Носов, 1981; Папченков, 1985; Чернова, 2014, 2015). Показано, что расчётный метод определения биомассы макрофитов по морфометрическим показателям наиболее информативен, поскольку позволяет выявить особенности их линейного роста и, соответственно, формирования биомассы (Чернова, 2014, 2015). Данные по биомассе макрофитов, полученные методом прямого учёта или путём пересчета с применением соответствующих коэффициентов (Шуйский и др., 2002) используют при сравнительном анализе донных

фитоценозов. При описании их вертикальной структуры учитывают видовой состав ярусов и эпифитных синузий, обилие однолетних, многолетних и эфемероидных видов (число/м²; биомасса, г/м²), индекс видового разнообразия (ИВР) ярусов и синузий эпифитов, а также всего фитоценоза (Михайлова, 2000). Биомассу самого нижнего яруса, представленного, в основном, корковыми водорослями, обычно не определяют из-за трудоёмкости отбора и невозможности точного определения (Блинова, 1965). Выделение ярусов в донных фитоценозах проводят по высоте слагающих их видов с учётом жизненных форм (Морозова-Водяницкая, 1959; Калугина-Гутник, 1975). В растительных сообществах доминанты выделяют по проективному покрытию или биомассе (Сукачев, 1972; Калугина-Гутник, 1975), по значениям которой можно оценивать элементы антропогенной сукцессии макрофитобентоса (Мильчакова, 2015).

В таблице 1 приведены обобщённые данные о ярусной структуре цистозирового фитоценоза и видовом составе ярусов, который в значительной степени, как и в других сообществах, зависит от условий произрастания, экологических факторов и качества среды (Мильчакова, 2003, 2015; Мильчакова, Петров, 2003; Афанасьев, 2004; Сабурин, 2004; Теюбова, 2012 и др.).

Таблица 1

Данные о видовом составе и ярусной структуре цистозирового фитоценоза
в Чёрном море

Ярус	Типичные представители	Высота яруса, см	Общее количество видов
I	<i>Ericaria crinita</i> (Duby) Molinari & Guiry, <i>Gongolaria barbata</i> (Stackhouse) Kuntze	20–170	2
II	<i>Cladostephus spongiosus</i> (Hudson) C. Agardh, <i>Dictyota fasciola</i> (J. Agardh) Ardissonne, <i>Phyllophora crispa</i> (Hudson) P.S. Dixon, <i>Dasya baillouviana</i> (S.G. Gmelin) Montagne, <i>Ulva linza</i> Linnaeus, <i>Ceramium virgatum</i> Roth, <i>Nereia filiformis</i> (J. Agardh) Zanardini, <i>Codium vermilara</i> (Oliv) Delle Chiaj	3–10	11
III	<i>Ellisolandia elongata</i> (J. Ellis & Solander) K.R.Hind & G.W. Saunders, <i>Corallina granifera</i> J. Ellis & Solander; <i>Cladophora laetevirens</i> (Dillwyn) Kützing, <i>Jania rubens</i> (Linnaeus) J.V. Lamouroux, <i>Apoglossum ruscifolium</i> (Turner) J. Agardh, <i>Gelidium crinale</i> (Hare ex Turner) Gaillon, <i>Gelidium spinosum</i> (S.G. Gmelin) P.C. Silva, <i>Chaetomorpha aerea</i> (Dillwyn) Kützing <i>Padina pavonica</i> (Linnaeus) Thivy	1–2	14
IV	<i>Phymatolithon lenormandii</i> (Areschoug) W.H. Adey, <i>Peyssonnelia rubra</i> (Greville) J. Agardh, <i>Spermothamnion strictum</i> (C. Agardh) Ardissonne	корковые	7

Примечание к таблице. Номенклатура и систематическое положение макроводорослей приведены по AlgaeBase (Guiry et. al, 2022), виды указаны по опубликованным данным (Возжинская, 1957; Калугиной-Гутник, 1975; Мильчакова, 2003, 2015; Мильчакова, Петров, 2003; Афанасьев, 2004; Сабурин, 2004; Теюбова, 2012).

Известно, что функционирование прибрежных экосистем и их трофический статус во многом определяется структурным разнообразием и продуктивностью макрофитобентоса,

которые зависят от характеристик макрофитов и экологических условий (Kraft, 2007; Götzenberger, 2012; Ковардаков, Празукин, 2012). Для определения связи с факторами среды используют методы морфофункциональной экологии макрофитов и комплекс показателей, основанный на параметрах их поверхности (Хайлов и др., 1978; Хайлов, Празукин, 1983; Миничева, 1998). Удельную поверхность макроводорослей определяют методом прямого измерения (Фирсов, 1979), по аллометрическим зависимостям (Миничева, 1992) или весовым способом по контуру растений (Хайлов и др., 1992). В последние годы площадь поверхности водорослей (S_i) вычисляют путём индивидуального промера слоевищ с использованием компьютерных систем анализа изображения «Image analysis system», «Видео ТестМорфология 5.0» и «MaxSoft 3.0» (Завалко, Шошина, 2008, 2012; Гончарова, 2013). Расчёт удельной поверхности макрофитов (S/W) проводят на основе соотношения величины их поверхности к биомассе (Хайлов, Парчевский, 1983; Миничева, 1992). При определении площади поверхности донного фитоценоза учитывают вклад каждого вида, включая величину листового индекса возрастных групп ценопопуляций многолетних водорослей (Хайлов и др., 1978; Празукин, Хайлов, 1986; Миничева, 1991; Хайлов, 1992; Хайлов и др., 2008; Ковардаков и др., 2010).

Показано, что по структурно-функциональным параметрам макрофитов можно охарактеризовать состояние донных фитоценозов, а по значению величины удельной поверхности видов и их ценопопуляций определить интенсивность роста, скорость поглощения биогенных элементов и другие показатели. Кроме этого, учитывая выраженную связь структурно-функциональных параметров с условиями среды (гидродинамическая активность, трофность и т. д.), можно выявить механизмы ярусной дифференциации фитоценозов (Хайлов и др., 1978; Празукин, Хайлов, 1986; Миничева, 1991; Хайлов, 1992; Хайлов и др., 2008; Ковардаков и др., 2010).

Таким образом, для выявления направлений сукцессии и степени трансформации донной растительности применяют различные геоботанические и аллометрические методы, расчётные индексы, которые основываются на количественных и качественных показателях фитоценозов, в том числе, их ярусной структуры, а также функциональных параметрах ценопопуляций ключевых видов.

Использование расчетных показателей для анализа влияния различных факторов на структуру донных фитоценозов

Для сравнительного анализа состава и структуры донных фитоценозов, их трансформации под влиянием различных факторов используют не только прямые показатели, но и расчётные индексы. Так, по индексу Маргалефа (DMg) оценивают видовое богатство сообществ, а по индексу Шеннона (H) – вклад видов, в основном по биомассе в их структуру (Shannon, 1949; Песенко, 1982; Gupta, 2020). Показано, что для фитоценозов с наибольшим видовым разнообразием характерно максимальное значение индекса Маргалефа, связь которого с глубиной линейна (Симакова, 2018). В сообществах с высоким видовым разнообразием или при незначительном или равном развитии видов индекс Шеннона выше, тогда как при обилии и доминировании небольшого количества видов его значения понижаются (Протасов, 2004). Поэтому по значению индекса Шеннона можно выделить районы с максимальным видовым разнообразием донных фитоценозов, а по его изменению особенности их структурных перестроек (Калугиной-Гутник, 1989; Евстигнеева, 2008; Степаньян, 2008). Для оценки представленности видов и их вклада в структуру сообщества применяют индекс выравненности Пиелу (J') (Песенко, 1982), при его значениях, близких к единице, выравненность выше (Горшкова, 2012). Использование при геоботанических исследованиях индексов Шеннона и Пиелу позволяет более точно охарактеризовать состав и структуру фитоценозов, и, соответственно, оценить их изменения. Реже применяют индекс Макинтоша, который рассчитывается по числу видов (Песенко, 1982), его абсолютная величина выше в многовидовых сообществах.

Для сравнительной характеристики донных фитоценозов на одних и тех же участках используют индексы флористического сходства. Для анализа межгодовых изменений видового разнообразия наиболее применим коэффициент общности видов по Жаккару (K_0) (Мильчакова, 2003; Теубова, 2012; Евстигнеева, 2021), преимуществом которого является относительная простота расчётов, возможность сравнительного анализа по данным о присутствии/отсутствии видов. Варьирование K_0 зависит от многих факторов, в том числе, цикличности развития видов, изменения условий их произрастания и других.

При анализе флористического разнообразия макрофитов на разных участках, видового разнообразия фитоценозов часто используют индекс Чекановского-Сёренсена (I_{cs}) или индекс структуры сообщества (Песенко, 1982). К недостаткам этого индекса можно отнести то, что при сходном видовом разнообразии разных местообитаний он не отражает различия между ними, даже при существенном различии относительных долей видов.

При сравнительном анализе структуры сообществ по районам используют критерий наибольшего сходства по методу максимального корреляционного пути по Л. К. Выханду (1964). Его использование позволило выделить в прибрежной зоне побережья Кавказа группы районов с наибольшей общностью видов (Теубова, 2012). Для количественной оценки различия между двумя разными выборками (участками) по видовому составу и вкладу видов используют также меру сходства Брея-Кёртиса, после логарифмического преобразования данных по биомассе видов методом попарного присоединения (Песенко, 1982; Field et al., 1982). К преимуществам данного метода относятся его высокая чувствительность и специфичность, позволяющая статистически достоверно оценивать различие данных. При мониторинге экологического состояния прибрежных акваторий и сравнительного анализа изменений макрофитобентоса по районам, сезонам и глубинам используют также коэффициент сходства биомассы (P) (Littler, Littler, 1984).

Для фитоиндикации среды и оценки степени эвтрофирования применяют флористический коэффициент Чени (Cheney, 1977), основанный на соотношении количества зелёных и красных водорослей к бурым. Возрастание его значений свидетельствует об ухудшении качества среды и повышении степени эвтрофирования акваторий (Калугина-Гутник, 1989; Мильчакова, 2003, 2014; Мильчакова и др., 2019). Для оценки антропогенного воздействия на экосистемы с использованием макрофитов в качестве биоиндикаторов применяют индекс экологического состояния фитоценозов – EEI (Orfanidis et al., 2001, 2014; Piazzini et al., 2021). Для его расчёта донные макрофиты разделяют на две экологические группы: поздние сукцессионные, или многолетние, растения (ESG I, группа экологического состояния I) и оппортунистические, или однолетние (группа ESG, группа экологического состояния II), оценивая их вклад в биомассу фитоценоза. Показано, что по значению индекса EEI макрофитобентос Суджукской лагуны характеризуется в целом низким экологическим статусом (Berezenko, Milchakova, 2018).

Установлено, что функциональные параметры донных фитоценозов и их структурных элементов можно охарактеризовать по значениям индексов поверхности популяций (ИПП), ярусов (ИП_{яр}), эпифитных синузий (ИПс), а также по общему индексу поверхности фитоценоза (ИПФ_{общ}). С помощью индексов поверхности определяют потенциальную способность макрофитобентоса к самоочищению водных масс (Миничева, 1990, 1993; Хайлов и др., 1992).

Следует отметить, что при изучении макрофитобентоса наиболее часто используются методы, позволяющие выявить флористическое разнообразие и особенностей структуры донных фитоценозов, их региональные особенности и изменения. При мониторинге экологического состояния прибрежных экосистем и сравнительном анализе донной растительности на отдельных участках с различными типами природопользования и уровнем антропогенной нагрузки наиболее применим коэффициент сходства биомассы (P) и мера сходства Брея-Кёртиса, а для выявления степени антропогенного воздействия на прибрежные экосистемы – индекс EEI. При определении потенциальной способности макрофитобентоса к самоочищению водных используют индексы поверхности популяций ключевых и доминирующих видов, обилие которых наиболее высоко.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аналитический обзор методов геоботанических исследований, используемых для изучения морского макрофитобентоса, показал, что по его структурно-функциональным параметрам можно проводить оценку состояния донной растительности и прибрежных экосистем, выявлять короткопериодные и многолетние изменения донных фитоценозов и механизмы их трансформации в зависимости от экологических факторов. Наиболее выраженный отклик на изменение качества среды характерен для параметров удельной поверхности макрофитов, ценопопуляций и фитоценозов, биомассы видов-литофитов, соотношения эфемероидных и многолетних видов, степени развития эпифитных синузид и других показателей. Для оценки состояния донной растительности применяют различные методы исследования, позволяющие также выполнить фитоиндикацию среды обитания и сравнительный анализ изменения пространственной и вертикальной структуры донных фитоценозов. Использование различных геоботанических методов способствует получению наиболее полных и достоверных данных о структуре и динамике донных фитоценозов, степени их устойчивости и/или нарушенности и, соответственно, обосновать комплекс мер по сохранению наиболее уязвимых участков прибрежных экосистем, в том числе в акваториях ООПТ.

Благодарности. Автор считает своим приятным долгом выразить искреннюю благодарность научному руководителю, ведущему научному сотруднику, к. б. н. Н. А. Мильчаковой и к. б. н. Л. П. Вахрушевой за консультации и обсуждение работы, а также сотрудникам лаборатории фиторесурсов ФИЦ ИнБЮМ за помощь и внимание к работе.

Статья подготовлена по теме государственного задания ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», № 121030100028-0.

Список литературы

- Альгология и микология: учебное пособие / [Ред. А. С. Шуканов]. – Минск: БГУ, 2009. – 423 с.
- Алехин В. В. Методика полевого изучения растительности и флоры. – 2-е изд., доп. и перераб. – Москва: Наркомпрос, 1938. – 208 с.
- Афанасьев Д. Ф. Структура и продуктивность макрофитобентоса Северо-Кавказского шельфа Черного моря: автореф. дис. ... канд. биол. наук: спец. 03.00.32 Биологические ресурсы. – Краснодар: КубГАУ, 2004. – 28 с.
- Блинова Е. И. Вертикальное распределение и количественный учет макрофитов Айновских островов (Баренцево море) // Труды Мурманского морского биологического института – 1965. – Т. 8. – № 12. – С. 41–56.
- Болконская Л. А., Шпакова Т. А. Смена растительных сообществ у юго-западного Сахалина (г. Невельск - п. Садовники) // Прибрежные гидробиологические исследования (сб. науч. тр.). – М., 1999. – С. 71–74.
- Браун Д. Методы исследования и учета растительности – М.: Изд-во иностранной литературы, 1957. – 316 с.
- Быков Б. А. Геоботаника. – Алма-Ата: Изд-во «Наука» КазССР, 1978. – 288 с.
- Василевич В. И. Статистические методы в геоботанике. – Л.: Наука, 1969. – 232 с.
- Виноградова К. Л. Эпифитизм водорослей: уточнение терминологии // Ботанический журнал. – 1989. – Т. 74, № 9. – С. 1291–1293.
- Возжинская В. Б. Макроэпифиты черноморской цистозиры // Труды института океанологии. – 1957. – Т. 23. – С. 168–184.
- Воронов А. Г. Геоботаника: Учебное пособие для университетов и педагогических институтов. – М.: Высшая школа, 1973. – 384 с.
- Выханду Л. К. Об исследовании многопризнаковых систем // Применение математических методов в биологии. – 1964. – С. 19–23.
- Ганнибал Б. К. О внешнем кризисе, внутреннем застое, системном подходе и понятии синузид в Геоботанике // Отечественная геоботаника: основные вехи и перспективы. – СПб.: Материалы Всероссийской научной конференции, 2011. – Т. 1. – С. 439–442.
- Голлербах М. М., Штина Э. А. Почвенные водоросли. – Л.: Наука, 1969. – 228 с.
- Гончарова О. В., Шошина Е. В. Морфофункциональные параметры *Fucus vesiculosus* в условиях Кольского залива // Вестник МГТУ. – 2013. – Т. 16, № 3. – С. 437–448.

- Горшкова Т. А., Хукаленко Е. С., Павлова Н. Н., Амосова Н. В., Рассказова М. М. Анализ изменения состава и структуры лесных растительных ассоциаций в градиенте рекреационной нагрузки // Региональные геосистемы. – 2012. – Т. 18, № 3. – С. 105–113.
- Громов В. В. Методика подводных фитоценологических исследований. // Гидробиологические исследования северо-восточной части Чёрного моря. – Ростов: Изд-во Ростовского университета, 1973. – С. 69–72.
- Евстигнеева И. К. Структура цистозирово-и зоостеро-лауренциевых фитоценозов в некоторых районах крымского побережья Черного моря // Экология моря. – 1983. – Т. 12. – С. 35–41.
- Евстигнеева И. К. Некоторые аспекты структуры эпифитных компонентов цистозировых сообществ в Черном море. – 1990. – С. 33–37.
- Евстигнеева И. К., Танковская И. Н. Макрофитобентос мелководья Западного Крыма // Труды ЮгНИРО. – 2008. – Т. 46. – С. 79–86.
- Евстигнеева И. К., Танковская И. Н. Гидробиологические исследования охраняемой акватории Западного Крыма (Черное море) // Фиторазнообразие Восточной Европы. – 2021. – Т. 15, № 4. – С. 16–33.
- Завалко С. Е., Шошина Е. В. Многоуровневая морфофизиологическая оценка состояния фукусовых водорослей в условиях антропогенного загрязнения (Кольский залив, Баренцево море) // Вестник МГТУ. – 2008. – Т. 11, № 3. – С. 423–431.
- Загородняя Ю. А., Сергеева Н. Г., Болтачев А. Р., Финенко З. З., Еремеев В. Н., Мильчакова Н. А., Гаевская А. В., Гришин А. Н., Зуев Г. В., Шульман Г. Е., Миронов О. Г. Современное состояние промысловых биоресурсов Чёрного моря // Морской экологический журнал. – 2009. – Т. 8, № 4. – С. 5–23.
- Заика В. Е. Некоторые аспекты экологического прогнозирования применительно к морским ресурсам // Экология моря. – 1992. – Т. 41. – С. 3–8.
- Зайдельман Ф. Р., Морозова, Д. И., Шваров, А. П., Батрак, М. В. Растительность и почвообразование на пирогенных субстратах торфяных почв // Почвоведение. – 2006. – № 1. – С. 19–28.
- Зайцев Г. Н. Методика биометрических расчетов. – М.: Наука, 1963. – 256 с.
- Ипатов В. С., Кирикова Л. А. Фитоценология: Учебник. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 1997. – 316 с.
- Калугина-Гутник А. А. Количественный учет водорослей Новороссийской бухты // Научная конференция, посвященная 40-летию деятельности Новороссийской биологической станции: Тезисы докладов и сообщений – Новороссийск, 1961. – С. 29.
- Калугина-Гутник А. А. Исследование донной растительности Чёрного моря с применением легководолазной техники // Морские подводные исследования. – 1969. – С. 105–113.
- Калугина-Гутник А. А. Фитобентос Черного моря. – Киев: Наукова думка, 1975. – 246 с.
- Калугина-Гутник А. А. Развитие фитобентосных исследований // Морские биологические исследования. – Севастополь: ИнБИОМ НАН Украины. – 1994. – С. 65–80.
- Карнаухов Д. Ю. Дистанционные методы экологических исследований и мониторинга в лимнологии и океанологии и их применение на озере Байкал // Развитие жизни в процессе абиотических изменений на Земле. – 2014. – № 3. – С. 374–381.
- Карманова И. В. Взаимосвязь между жизненной формой особи и продуктивностью // Журнал общей биологии 1983. – Т. 54, № 9. – С. 461–467.
- Катанская В. М. Продуктивность растительного покрова некоторых озёр Карельского перешейка // Труды лаборатории озёроведения АН СССР. – 1960. – Т. 11. – С. 151–177.
- Клочкова Н. Г., Березовская В. А. Макрофитобентос Авачинской губы и его антропогенная деструкция. – Владивосток: Дальнаука, 2001. – 205 с.
- Ковальчук Н. И., Хайлов К. М. О состоянии цистозировых зарослей в акватории некоторых Крымских пляжей // Альгология – 1992. – Т. 2, № 1. – С. 40–47.
- Ковардаков С. А., Празукин А. В. Структурно-функциональные характеристики донного фитоценоза бухты Круглой (Севастополь) // Экосистемы. – 2012. – № 7 (26). – С. 138–148.
- Ковардаков С. А., Празукин А. В., Щербатенко Л. С. Продукционные характеристики *Cystoseira crinita* Duby в морской акватории с аварийным выпуском хозяйственных сточных вод // Современное состояние водных биоресурсов и экосистем морских и пресных вод: проблемы и пути решения. – 2010. – С. 176–178.
- Кокин К. А., Носов В. Н. К определению зависимости между морфологическими показателями высших водных растений и их массой // Биологические науки. – 1981. – № 4. – С. 86–88.
- Костенко Н. С., Евстигнеева И. К., Танковская И. Н. Фитобентос // Биология Черного моря у берегов Юго-восточного Крыма. – 2018. – С. 172–233.
- Красная книга Краснодарского Края. (Растения и грибы) / [Отв. ред. С.А. Литвинская]. – Краснодар, 2017. – 850 с.
- Красная книга города Севастополя / Правительство Севастополя. Главное управление природных ресурсов и экологии города Севастополя / [Ред. И. В. Довгаль, В. В. Корженевский]. – Калининград – Севастополь: ООО Изд-во дом «РОСТ-ДООАФКЛ», 2018. – 432 с.
- Красная книга Республики Крым. Растения, водоросли и грибы / [Отв. ред. А. В. Ена, А. В. Фатерьга]. – Симферополь: ООО «ИТ «АРИАЛ», 2015. – 480 с.
- Красная книга Российской Федерации (растения и грибы) / [Отв. ред. Р. В. Камелин, В. С. Новиков]. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. – 885 с.
- Мазинг В. В. Структурные уровни растительного покрова // Ученые записки Тартуского государственного университета. – 1988. – С. 122–141.

- Максимова О. В., Лучина Н. П. Современное состояние макрофитобентоса у побережья Северного Кавказа: реакция фитали на эвтрофикацию Черноморского бассейна // Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря. – М.: Наука, 2002. – С. 297–308.
- Маслов И. И. Современный фитосапробный состав водорослей-макрофитов заповедника «Мыс Мартыан» // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 1990. – № 71. – С. 19–24.
- Мильчакова Н. А. Ресурсы макрофитов Черного моря: проблемы охраны и рационального использования // Экология моря. – 2001. – Т. 57. – С. 7–12.
- Мильчакова Н. А., Петров А. Н. Морфофункциональный анализ многолетних изменений структуры цистозировых фитоценозов (бухта Ласпи, Черное море) // Альгология – 2003. – Т. 13, № 4. – С. 355–370.
- Мильчакова Н. А. Региональные аспекты разнообразия флоры черноморских макрофитов // Морской экологический журнал. – 2007. – Т. 6, № 1. – С. 44–54.
- Мильчакова Н. А., Миронова Н. В., Рябогина В. Г. Глава 4. Морские растительные ресурсы // Промысловые биоресурсы Черного и Азовского морей. – 2011. – С. 117–139.
- Миничева Н. А. Состояние макрофитобентоса Карадагского природного заповедника и прилегающих особо охраняемых природных территорий (Крым, Чёрное море) // 100 лет Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского. – 2015. – С. 506–523.
- Миничева Г. Г. Связь продукционных и морфологических параметров у пластинчатой водоросли *Porphyra leucosticta* Thur // Экология моря. – 1991. – Вып. 37. – С. 45–49.
- Миничева Г. Г. Структурно-функциональные особенности формирования сообществ морских бентосных водорослей // Альгология. – 1993. – Т. 3, № 1. – С. 3–12.
- Миничева Г. Г. Реакция многоклеточных водорослей на эвтрофирование экосистем // Альгология. – 1996. – Т. 6, № 3. – С. 250.
- Миничева Г. Г. Морфофункциональные основы формирования морского фитобентоса: автореф. дис. ... док. биол. наук: спец. 03.00.17 Гидробиология. – Севастополь: ИнБИОМ, 1998. – 32 с.
- Миркин Б. М. Что такое растительные сообщества / [Отв. ред. В. Е. Соколов]. – Москва: Наука, 1986. – 159 с.
- Михайлова Т. А. Структура и межгодовая динамика ламинариевого фитоценоза в Белом море // Ботанический журнал – 2000. – Т. 85, № 5. – С. 78–88.
- Морозова-Водяницкая Н. В. Опыт количественного учета донной растительности в Чёрном море // Труды Севастопольской биологической станции – 1936. – Т. 5. – С. 45–208.
- Морозова-Водяницкая Н. В. Растительные ассоциации в Черном море // Труды Севастопольской биологической станции – 1959. – Т. 11. – С. 3–28.
- Орлова Ю. С. Использование индексов биологического разнообразия для анализа альгофлоры бассейна р. Алатырь // Инженерные технологии и системы. – 2013. – № 3–4. – С. 53–57.
- Папченков В. Г. К изучению сезонной динамики накопления растительной массы гелофитов // Ботанический журнал. – 1985. – Т. 70. – № 2. – С. 208–214.
- Песенко Ю. А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. – М.: Наука, 1982. – 287 с.
- Петров К. М. Биогеография океана. Биологическая структура океана глазами географа. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 1999. – 232 с.
- Полевая ботаника / [Ред. Е. М. Лавренко, А. А. Корчагина]. – Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1964. – Т. 3. – С. 209–300.
- Полевая геоботаника / [Ред. Е. М. Лавренко]. – Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1976. – Т. 5. – 319 с.
- Празукин А. В., Хайлов К. М. Размерный спектр и внешний углеродный обмен структурных элементов слоевища цистозире // Экология моря. – 1986. – Вып. 24. – С. 34–42.
- Празукин А. В., Фирсов Ю. К. Архитектоника растительных покровов цистозировых фитоценозов, Черное море // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. – 2016. – № 1. – С. 105–118.
- Протасов А. А., Павлюк Т. Е. Использование показателей биоразнообразия для оценки состояния водных объектов и качества воды // Гидробиологический журнал. – 2004. – Т. 40, № 6. – С. 3–17.
- Работнов Т. А. Экспериментальное изучение травянистой растительности. Проблемы ботаники. X. Проблемы экспериментального изучения растительного покрова // Вопросы экспериментального изучения растительного покрова. – Л., 1968. – С. 162.
- Работнов Т. А. Фитоценология: Учебное пособие для вузов. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 352 с.
- Сукачев В. Н. Основы лесной типологии и биогеоценологии / [Ред. Е. М. Лавренко]. – Л.: Наука, 1972. – Т. 2. – 419 с.
- Сабурин М. Ю. Фитоценозы черноморской цистозире: структура, восстановление и перспективы использования: автореф. дис. ... канд. биол. наук: спец. 03.00.18 Гидробиология. – М.: МГУ, 2004. – 20 с.
- Садогурский С. Е., Садогурская С. А. Фитобентос в районе мыса Хрони (Азовское море-Керченский пролив): современное состояние и пути сохранения // Экосистемы. – 2013. – № 8 (27). – С. 3–16.
- Сахаров М. И. Элементы лесных биогеоценозов // Доклады АН СССР. НС. – 1950. – Т. 71, № 3. – С. 507–560.
- Симакова У. В. Влияние рельефа дна на сообщества цистозире Северо-Кавказского побережья Черного моря // Океанология. – 2009. – Т. 49, № 5. – С. 725–733.

- Симакова У. В., Семин В. Л., Любимов И. В., Свасян В. А., Тимофеев В. А., Басин А. Б., Колючкина Г. А. Мониторинг прибрежных донных сообществ // Некоторые результаты комплексной прибрежной экспедиции «Черное море-2017» на МНИС «Ашамба». – 2018. – С. 79–108.
- Степаньян О. В. Оценка видового разнообразия макроводорослей Азовского, Черного и Каспийского морей // Фундаментальные и прикладные проблемы ботаники в начале XXI века. – 2008. – С. 83–86.
- Сукачев В. Н. Основы лесной типологии и биогеоценологии. Избранные труды – Л.: Наука, 1972. – Т. 3. – 543 с.
- Сукачев В. Н. Растительные сообщества (Введение в фитосоциологию). – М.: Книга, 1928. – 232 с.
- Тююбова В. Ф. Разнообразие и экологические особенности макрофитобентоса российского сектора Черного моря: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08 Экология. – Краснодар: ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный университет», 2012. – 22 с.
- Фудзита Д. Исследования явления «исоякэ» у г. Тайсэй-мати на о. Хоккайдо // Суйсан дзосеку. – 1987. – Т. 35, № 3. – С. 32–39.
- Фудзита Д. Распределение морских водорослей на «исоякэ», г. Тайсэй-мати, о. Хоккайдо. Нанкисэйбуцу // Суйсан дзосеку. – 1989. – Т. 31, № 1. – С. 41–49.
- Хайлов К. М., Холодов В. И., Фирсов Ю. К., Празукин А. В. Морфофункциональный анализ слоевищ *Fucus vesiculosus* L. в онтогенезе // Биология моря – 1978. – № 40. – С. 55–62.
- Хайлов К. М., Парчевский В. Н. Иерархическая регуляция структуры и функции морских растений. – К.: Наукова думка, 1983. – 253 с.
- Хайлов К. М., Празукин А. В., Ковардаков С. А., Рыгалов В. Е. Функциональная морфология морских многоклеточных водорослей. – 1992. – 280 с.
- Хайлов К. М., Ковардаков С. А., Празукин А. В. Оценка продуктивности водорослей в биокосных фитосистемах на основе обобщенного уравнения интенсивности роста // Физиология растений. – 1993. – Т. 40, № 6. – С. 856–862.
- Чернова А. М. Зависимость массы от морфометрических показателей корневищ *Nuphar lutea* (Nymphaeaceae) // Растительные ресурсы. – 2014. – Т. 50, вып. 1. – С. 17–24.
- Чернова А. М. Сезонная динамика продуктивности кубышки желтой *Nuphar lutea* (L.) Smith (Nymphaeaceae) в малой реке Ильдь (Ярославская область) // Биология внутренних вод. – 2015. – № 2. – 60 с.
- Чернышева Е. Б. Изменение структуры цистозировых фитоценозов в различных экологических условиях (Черное море, Севастополь) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2019. – № 3. – С. 72–81.
- Шаповалова, А. А. Экология растений: учебное пособие. – Саратов: Изд-во Саратовский источник, 2015. – 80 с.
- Шенников А. П. Введение в геоботанику. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1964. – 447 с.
- Шошина Е. В., Воскобойников Г. М., Макаров М. В., Завалко С. Е., Капков В. И. Макроводоросли в системе биологического мониторинга морских прибрежных экосистем // Вестник Мурманского государственного технического университета. – 2012. – Т. 15, № 4. – С. 851–857.
- Шуйский В. Ф., Максимова Т. В., Петров Д. С. Биоиндикация качества водной среды, состояния пресноводных экосистем и их антропогенных изменений // Экология и развитие Северо-Запада России: сборник научных докладов VII международной конференции (С.-Петербург, 2–7 авг. 2002 г.). – СПб., 2002. – С. 1–19.
- Ярошенко П. Д. Геоботаника. – М.: Просвещение, 1969. – 200 с.
- Belhaouari B., Zoubeyda B. Study of the macroalgae and application of ecological evaluation index (EEI-c) in the coastal waters of Algeria // International Journal of Aquatic Biology. – 2019. – Vol. 7, N 5. – P. 254–259.
- Berezenko N. S., Milchakova N. A. Long-term changes of macrophytobenthos of «Sudzhuk lagoon» natural monument (Black Sea) // Nature Conservation Research. Заповедная наука. – 2018. – Т. 3, N 4. – С. 59–67.
- Black Sea Red Data Book / [Ed. H. J. Dumont]. – New York: United Nations Office for Project Services, 1999. – 413 p.
- Boudouresque C. F. Méthodes d'étude qualitative et quantitative du benthos // Tethys. – 1971. – Vol. 3, N 1. – P. 79–104.
- Cheney D. T. R C/P – a new and improved ratio for comparing seaweed floras // Journal of Phycology. – 1977. – Vol. 13, N 2. – 12 p.
- European Commission. Interpretation Manual of European Union Habitats. Eur 27. Council of Europe Publications. – Strasbourg, 2007. – 142 p.
- Field J. G., Clarke K. R., Warwick R. M. A practical strategy for analysing multispecies distribution patterns // Marine ecology progress series. – 1982. – Vol. 8. – P. 37–52.
- Gubbay S., Sanders N., Haynes T., Janssen J. A. M., Rodwell J. R., Nieto A. & Borg J. European red list of habitats. Part 1: Marine habitats. – European Union, 2016. – 52 p.
- Gams H. Prinzipienfragen der Vegetationsforschung // Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft. – 1918. – Vol. 63. – 428 p.
- Guiry M. D., Guiry G. M. AlgaeBase. World-wide electronic publication. National University of Ireland, Galway, 2022. Available at: <http://www.algaebase.org>. (Accessed June 20, 2022).
- Gupta P., Tamot S., Shrivastava V. K. & Chakarde R. et al. Seasonal variations in diversity of aquatic macrophytes of Upper Lake, Bhopal // Ecology Environment Conservation. – 2020. – Vol. 26, N 8. – P. 231–235.

Jackson G. A. Nutrients and production of giant kelp, *Macrocystis pyrifera*, off southern California 1 // *Limnology and Oceanography*. – 1977. – Vol. 22, N 6. – P. 979–995.

Götzenberger L., de Bello F., Bräthen K. A., Davison J., Dubuis A., Guisan A., Lepš J., Lindborg R., Moora M., Pärtel M., Pellissier L., Pottier J., Vittoz P., Zobel K., Zobel M. Ecological assembly rules in plant communities – approaches, patterns and prospects // *Biological reviews*. – 2012. – Vol. 87, N 1. – P. 111–127.

Kraft N. J., Cornwell W. K., Webb C. O., Ackerly D. D. Trait evolution, community assembly, and the phylogenetic structure of ecological communities // *The American Naturalist*. – 2007. – Vol. 170, N 2. – P. 271–283.

Littler M. M., Littler D. S. Relationships between macroalgal functional form groups and substrata stability in a subtropical rocky-intertidal system // *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. – 1984. – Vol. 74, N 1. – P. 13–34.

Natura, 2000. Available at: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/e4d56202-545d-43d8-972c-6be52cc8fec3> (accessed June 20, 2022).

Habitats Directive 92/43/EEC. Available at: <https://eur-lex.europa.eu> (accessed June 20, 2022).

Orfanidis S., Panayotidis P., Stamatis N. Ecological evaluation of transitional and coastal waters: a marine benthic macrophytes-based model // *Mediterranean marine science*. – 2001. – Vol. 2, N 2. – P. 45–66.

Piazzzi L. et al. Monitoring non-indigenous macroalgae in a Mediterranean MPA: Lessons from a short-temporal variability of pristine habitats invasion // *Ocean & Coastal Management*. – 2021. – Vol. 207. – P. 105608.

Shannon C. E., Weaver W. The mathematical theory of communication // *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana. – 1948. – Vol. 27. – P. 379–423.

Viaroli P., Bartoli M., Giordani G., Naldi M., Orfanidis S., Zaldivar J. Community shifts, alternative stable states, biogeochemical controls and feedbacks in eutrophic coastal lagoons: a brief overview // *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. – 2008. – Vol. 18, N 1. – P. 105–117.

Pavshenko D. A. Application of geobotanical methods for studying the benthic vegetation of the Black Sea // *Ekosistemy*. 2023. Iss. 36. P. 18–29.

The paper presents an analytical review of geobotanical research methods used to study the state of benthic vegetation, spatial and vertical structure of phytocenoses. The data on the main structural and functional indicators of macrophytobenthos, characterized by the most pronounced response to changes in the quality of the environment (species diversity, specific surface area, biomass, density or abundance, the ratio of groups of algae by life cycle duration, and others) are provided. Application of various indices to analyze the state of benthic phytocenoses, cenopopulations of key and protected macrophyte species in different environmental conditions, to identify the degree of their stability and/or disturbance and ability to recover, is analyzed. The research results can be used to address fundamental and applied problems of preserving benthic vegetation and developing a set of measures to protect coastal ecosystems from anthropogenic impact and other negative factors.

Key words: macrophytes, geobotanical methods, structure of phytocenoses, indicators of macrophytobenthos, Black Sea.

Поступила в редакцию 15.08.22

Принята к печати 29.06.23

Особенности флористического состава, экологической и биологической структуры растительных сообществ земляничниковой формации (*Arbuteta andrachnis*) Южного берега Крыма

Никифоров А. Р., Панельбу В. В., Пшеничников Н. А.

Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН

Ялта, Республика Крым, Россия

nikiforov.a.r.01@mail.ru, serb_84@mail.ru, pschenichnikov.1994@mail.ru

Популяции земляничника мелкоплодного сформировались на территории Южного берега Крыма (ЮБК) в конце миоцена и сохранились до настоящего времени благодаря уникальному сочетанию абиотических факторов. Комплекс этих факторов, обусловивший появление благоприятных условий для развития *Arbutus andrachne* L. в конкретных экотопах, позволил реликту без существенных изменений сохраниться в местных рефугиумах в ходе глобальных климатических трансформаций плейстоцена. В связи с этим, интерес представляет не только древостой земляничника сам по себе, но и сопутствующие этому древостою виды в составе растительных сообществ с участием *A. andrachne*. Эти сообщества гомологически близкие средиземноморскому маквису (маквисоидная растительность Крымского Субсредиземноморья) целесообразно выделить в отдельную формацию *A. andrachnis*. Их флористический состав, экологическая и биологическая структура выступают в качестве эталонов средиземноморской растительности на крайнем северо-востоке ее ареала. Выявление полного флористического состава растительных сообществ с участием *A. andrachne* позволили оценить их состав по некоторым экологически важным признакам: по отношению к режимам увлажнения и светового режима; по основной биоморфе, по структуре побегов и глубине корневой системы. Установлено, что по таксационным показателям оптимальные характеристики имеют насаждения *A. andrachne* в западных локалитетах. В экологическом ряду гидроморф во всех сообществах преобладают ксеромезофиты, с запада на восток наблюдается тенденция увеличения доли ксеромезофитов и уменьшение мезофитов до полного исчезновения их в наиболее аридном восточном рефугиуме. В экологическом ряду экоморф по отношению к свету в центральных локалитетах преобладают сциогелифиты, в западном и восточном рефугиумах – гелиофиты. По основной биоморфе в растительных сообществах преобладают поликарпические травы, по структуре надземных побегов травяного яруса с запада на восток наблюдается снижение числа видов с безрозеточными и розеточными побегами, а растения с полурозеточными побегами увеличивают свое долевое участие. В спектре биоморф по признаку глубины залегания корневой системы с запада на восток отмечена тенденция увеличения представленности видов с корневой системой короткого залегания. Интересные особенности отмечены во флористическом составе насаждений на горе Кабель, на востоке ареала земляничника мелкоплодного в Южном Крыму. Здесь земляничник представлен небольшими редколесьями, а сообщества имеют самый низкий уровень видового разнообразия. В современных условиях *A. andrachne* демонстрирует естественные процессы адаптации и реализует механизмы устойчивого развития природных популяций этого вида, формируя особый тип маквисоидной растительности.

Ключевые слова: *Arbutus andrachne* L., Южный Крым, фитоценоз, флористический состав, экоморфы.

ВВЕДЕНИЕ

Земляничник мелкоплодный (*Arbutus andrachne* L.) является единственным вечнозеленым широколиственным древесным растением автохтонной флоры Южного берега Крыма (ЮБК) (Эггерс, 1934; Куликов, Лялин, 1975; Ена, 1986; Ена, 1990). Популяции земляничника мелкоплодного сформировались в Южном Крыму в конце миоцена и сохранились до настоящего времени благодаря уникальному сочетанию абиотических факторов (Ена, 1990). Для этого вида, родственного элементам средиземноморского маквиса, Южный Крым является крайней северо-восточной границей его естественного ареала (Эггерс, 1934). Реликтовые эколого-биологические характеристики вида проявляются в биоморфологических особенностях растений и ритмах развития популяций. Последние опосредованно связаны со спецификой сезонной динамики климатических факторов

природной зоны сухих субтропиков Южной Европы, что выражается в аридном лете, на которое приходится биологический оптимум развития популяций (фенофазы цветения и плодоношения) и максимуме осадков в прохладный осенне-зимний период (период формирования генеративной сферы будущих соцветий, диссеминации и прорастания семян) (Голубева, 1982).

Сообщества с участием *A. andrachne* гомологически близки средиземноморскому маквису (маквисоидная растительность Крымского Субсредиземноморья). По этой причине их выделяют в отдельную формацию *A. andrachnis* (Ена, 1990). Флористический состав, экологическая и биологическая структура этих растительных сообществ являются эталонами средиземноморской растительности на крайнем северо-востоке ее крымского ареала: на западе, в центре и на востоке (Ена, 1982).

В условиях Южного берега Крыма, где в сравнении с другими регионами Средиземноморья лето более засушливо и обычны периоды летнего повышения дефицита влаги в почве, а зима более прохладная с кратковременными заморозками, энергетические затраты в реализации механизмов адаптации *A. andrachne* повышаются. Эти обстоятельства увеличивают уязвимость крымских растений и популяций земляничника мелкоплодного.

Также возникает проблема с идентификацией естественных границ популяции *A. andrachne*, как естественно-исторической структуры и сопутствующей ей растительности (Ена, 1990). Несмотря на физико-географическое сходство условий ЮБК, широкая трактовка которого включает всю приморскую зону южного макросклона Главной гряды Крымских гор (Ена, Кострицкий, 1966), локалитеты земляничника распространены весьма дискретно по открытым к морю и разделенным между собой известняковым гребням амфитеатров, на отгорженцах и куполах локкалитов (Ена, 1982, 1990): всего 55 местообитаний и 10 популяций (Ена, 1986). Как уже отмечалось, вид *A. andrachne* характеризуется повышенной уязвимостью к заморозкам и сильным ветрам и засушливым условиям. Поэтому наблюдается четко выраженный рефугиумный тип его локалитетов. В нижней зоне южного макросклона Главной гряды Крымских гор рефугиумы земляничника протянулись от урочища Аязьма на западе до г. Кагель (район Алушты) с гиагусами по 2–7 км в интервалах высот от 10 до 700 м (Ена, 1986). Наиболее высокорасположенные в Крыму экземпляры земляничника обнаружены на Байдаро-Кастропольской скальной стене на высоте 700 м (Ена, 1982). Основные же участки его произрастания расположены в пределах 50–300 метров над уровнем моря (Ена, 1986). Большая часть территории произрастания земляничника мелкоплодного в Крыму расположена в интенсивно осваиваемой рекреационной зоне (Ена, 1986, 1990). Это означает, что сообщества с участием *A. andrachne* прямо или косвенно испытывают негативное антропогенное воздействие и аллогенную сукцессию. В связи с этим, выявление полного флористического состава растительных сообществ с участием *A. andrachne* весьма актуально.

Цель исследований – изучить особенности флористического состава сообществ маквисоидной растительности с участием *A. andrachne* в нижнем поясе южного макросклона Главной гряды Крымских гор и оценить специфику состава экоморф по отношению к световому и водному режимам и по некоторым другим биоэкологическим признакам.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования динамики структуры и состава лесных насаждений *A. andrachne* проводили традиционным методом закладки экологических профилей (Исиков и др., 2014). Пробные площади, площадью 0,25 га закладывали с применением стандартных методов лесной таксации (Анучин, 1982). Изучали биометрические характеристики древостоя, состояние деревьев и проективное покрытие травяного яруса (Изюмский, 1972). С использованием методов вариационной статистики, определяли средние величины дендрометрических показателей, оценивали уровень связи отдельных признаков (Лакин, 1990). Индекс состояния насаждения оценивали по методике В. А. Алексеева (Алексеев, 1997).

Геоботаническое описание фитоценозов проводили согласно методическим рекомендациям по геоботаническому изучению и классификации растительности Крыма (Голубев, Корженевский, 1985). Описания проводили в октябре 2021 года и мае 2022 года. Состав экоморф выясняли по классификации В. Н. Голубева, которая адаптирована к изучению растений флоры Крыма (Голубев, 1996). Анализировали биоморфологические (по основной биоморфе, по структуре надземных побегов, глубине корневых систем) и экологические (по водному и световому режимам) признаки сообществ. При определении проективного покрытия видов использовали модифицированную шкалу Браун-Бланке: «r» – встречается редко (менее 1 %); «+» – незначительное участие ценопопуляции вида в фитоценозе; «1» – проективное покрытие 5–10 %; «2» – от 10 до 25 %; «3» – от 25 до 50 %; «4» – от 50 до 75 %; «5» – более 75 % (Westhoff, van der Maarel, 1978). Одним из важных показателей сходства флор является сходство их видового состава, его количественную оценку проводили с использованием бинарного коэффициента Жаккара (Шмидт, 1980). Латинская номенклатура видов указана согласно таксономической основе World Flora Online (WFO).

Графические материалы выполняли в конструкторе карт Yandex и Exel. Координаты пробных площадей определяли при помощи навигатора Garmin Oregon 650.

Исследования проводили в наиболее крупных массивах *A. andrachne* на Южном берегу Крыма (рис. 1), Ass. Junipero oxycedri-Quercetum pubescentis Korzh. et Shelyag 1983 corr. # и Ass. Cisto-Arbutetum andrachnes Didukh, Vakarenko et Shelyag 1986 # (Корженевский и др., 2003).

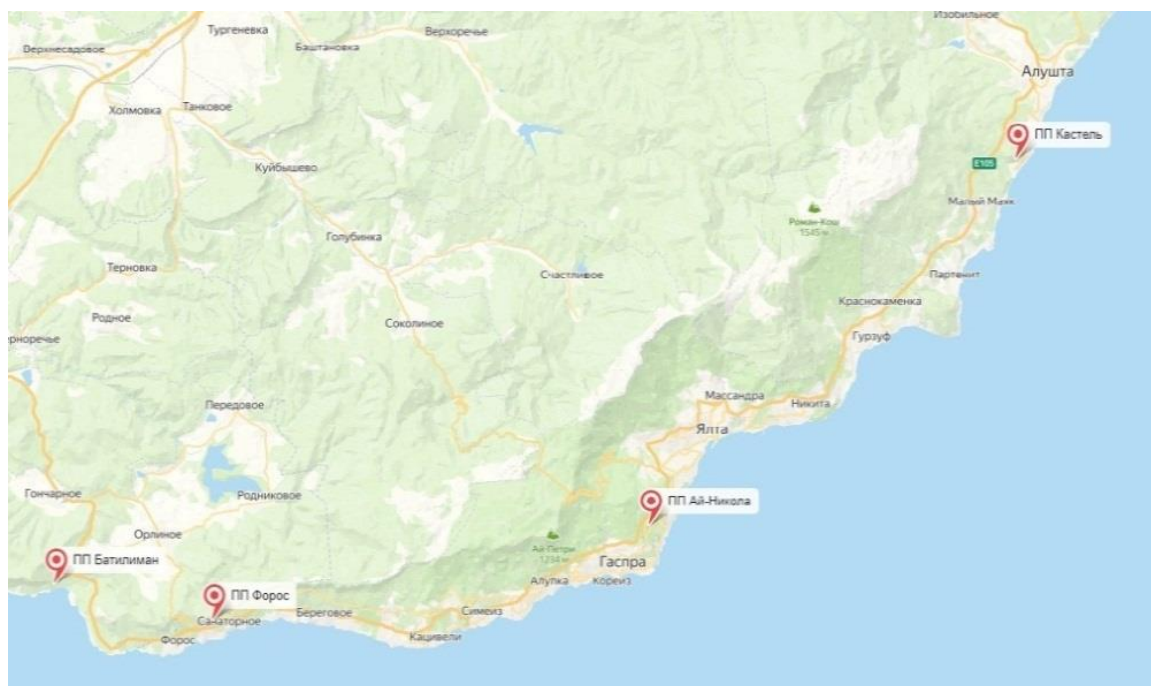


Рис. 1. Схема расположения пробных площадей *Arbutus andrachne* в Крыму

Пробная площадь (ПП) Батилиман. Координаты центра пробы: N44° 25' 25.0" E33° 41' 55.4". Высота над уровнем моря (ВНУМ) – 91 м. Состав насаждения: 63мл3Мжв1Дп. Полнота насаждения – 0,6. Редколесье из *A. andrachne* и *Juniperus excelsa* M.Bieb. Проективное покрытие травяного яруса около 40 %.

ПП Форос. Координаты центра пробы: N44° 24' 18.4" E33° 48' 44.7". ВНУМ – 242 м. Состав насаждения: 6Дп2Мжк23мл. Полнота – 0,6. Редколесье из *Quercus pubescens* Willd., *J. excelsa* и *A. andrachne*. Проективное покрытие травяного яруса достигает 40 %.

ПП Ай-Никола. Координаты центра пробы: N44 N44° 27' 11.5" E34° 07' 27.7". ВНУМ – 196 м. Состав насаждения: 6Скр3Змл1Мжв. Полнота – 0,5. Проективное покрытие травяного яруса около 10 %.

ПП Кафель. Координаты центра пробы: N44° 38' 13.0" E34° 23' 15.7". ВНУМ – 321 м. Состав насаждения: 7Змл2Дп1Мжк. Полнота – 0,4. Проективное покрытие травяного яруса около 30 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка современного состояния древостоев *A. andrachne* свидетельствует, что в целом они характеризуются низкими биоэкологическими показателями (табл. 1). В западной части ЮБК (Батилиман) на высоте 91 м н. у. м.: средняя высота $5,5 \pm 0,9$ м, диаметр – $21,3 \pm 0,5$ см, индекс жизненного состояния – 2,9 (табл. 1). Подлесок здесь формируют *A. andrachne*, *J. excelsa*, *Q. pubescens*, *Carpinus orientalis* Mill., *Cotinus coggygria* Scop., единично встречаются *Paliurus spina-christi* Mill., *Juniperus deltoides* R.P. Adams., *Rosa canina* L. и *Cornus mas* L.

Таблица 1

Таксационные характеристики насаждений *Arbutus andrachne* в Крыму

Пробная площадь	Высота кроны, м	Диаметр ствола, см	Индекс состояния
	M±s	M±s	
Батилиман	$5,5 \pm 0,9$	$21,3 \pm 0,5$	$2,6 \pm 0,2$
Форос	$7,5 \pm 0,4$	$18,2 \pm 0,3$	$2,7 \pm 0,1$
Ай-Никола	$7,2 \pm 0,8$	$16,5 \pm 1,3$	$2,1 \pm 0,1$
Кафель	$4,8 \pm 0,5$	$8,5 \pm 1,6$	$2,3 \pm 0,1$

Примечание к таблице. М – среднее значение; s – ошибка среднего значения.

Флористический состав растительного сообщества на ПП Батилиман представлен 40 видами травяного яруса из 27 семейств. По признаку отношения к влаге здесь преобладают ксеромезофиты – 62,5 % (рис. 2). По отношению к световому режиму господствуют гелиофиты – 47,5 % (рис. 3).

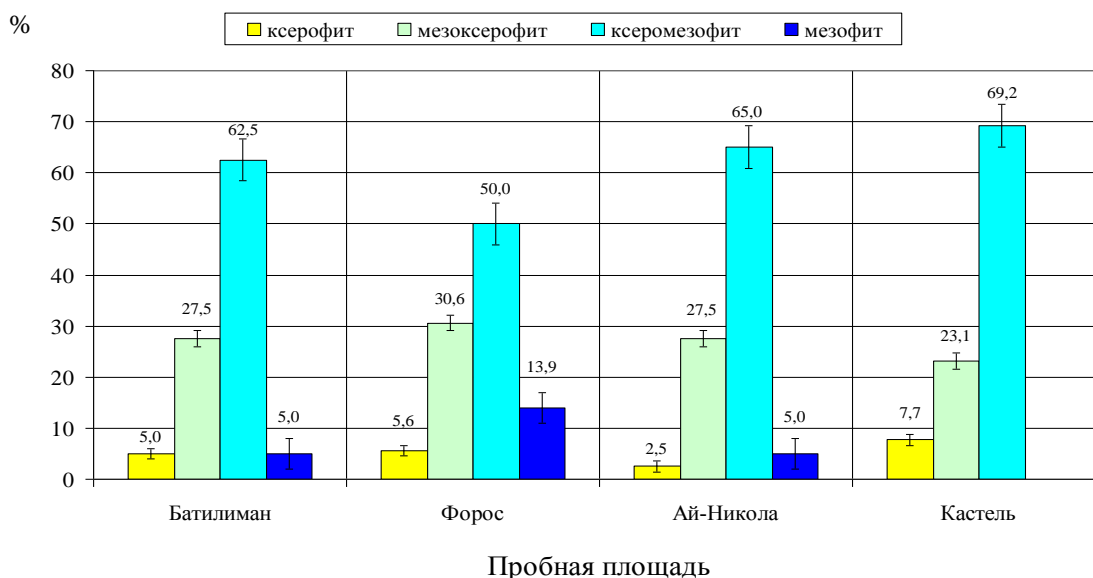


Рис. 2. Экологический спектр экоморф по водному режиму в фитоценозах *Arbutus andrachne*

В древостое ПП Форос на высоте 242 м н. у. м. средняя высота насаждений составляет $7,5 \pm 0,4$ м, диаметр – $18,2 \pm 0,3$ см. Здесь наблюдается самый низкий индекс жизненного состояния – 2,8. Возможно, что это связано с негативным антропогенным воздействием, так как явных причин снижения этого показателя не наблюдается. Подлесок формируют *C. orientalis*, *A. andrachne*, *Juniperus excelsa*, *Juniperus deltoides*, *Q. pubescens*, *P. spina-christi*, *C. coggygia*, *R. canina* и *C. mas*. Из почвопокровных растений наиболее распространен *Ruscus aculeatus* L. Флористический состав растительного сообщества представлен 36 видами из 24 семейств. Преобладают ксеромезофиты – 18 видов и мезоксерофиты – 11 видов (рис. 2). По отношению к световому режиму наиболее высока доля сциогелиофитов – 47,2 %, далее в убывающем порядке представлены гелиофиты, гелиосциофиты и сциофиты (рис. 3).

В центральной части ЮБК на ПП Ай-Никола (высота 196 м н. у. м.) средняя высота насаждений составляет $7,2 \pm 0,8$ м, диаметр – $16,5 \pm 1,3$ см, индекс жизненного состояния $2,1 \pm 0,1$. Подлесок формируют *C. orientalis*, *A. andrachne*, *Juniperus excelsa*, *Juniperus deltoides*, *Q. pubescens*, *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe, *C. coggygia* и *C. mas*. Из почвопокровных наиболее многочисленна *R. aculeatus*. Флористический состав ПП Ай-Никола представлен 40 видами травяного яруса из 25 семейств. По признаку отношения к влаге преобладают ксеромезофиты – 65,0 % и мезоксерофиты – 27,5 % (рис. 2). По признаку отношения к световому режиму на пробной площади доминируют сциогелиофиты (рис. 3).

В восточной части произрастания на ЮБК фитоценозы *A. andrachne* (ПП Кабель) имеют среднюю высоту $4,8 \pm 0,5$ м, средний диаметр – $8,5 \pm 1,6$ см, индекс жизненного состояния $2,6 \pm 0,1$. Низкая относительная полнота 0,4 свидетельствует о том, что деградация лесных насаждений превысила адаптивный потенциал растительного сообщества в поддержании естественных процессов устойчивого развития. В подлеске встречаются *C. orientalis*, *A. andrachne*, *J. deltoides*, *Q. pubescens* и *Pistacia atlantica* Desf. Флористический состав представлен 26 видами травяного яруса из 19 семейств. По отношению к влаге преобладают ксеромезофиты – 69,2 % (рис. 2). По характеристике светового режима в структуре фитоценоза более распространены гелиофиты (рис. 3).

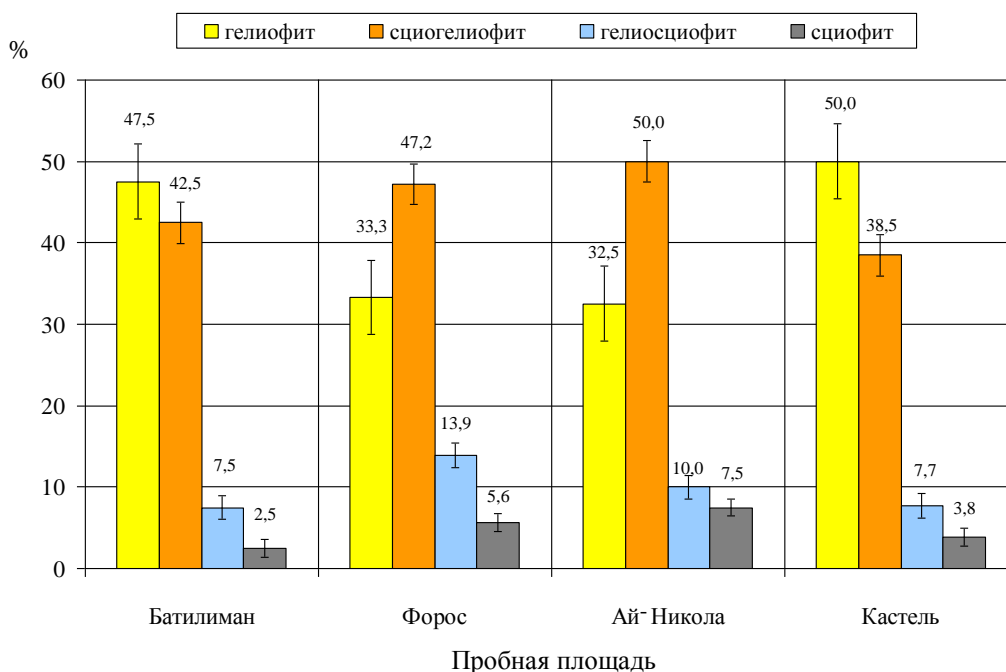


Рис. 3. Распределение травяного яруса фитоценозов *Arbutus andrachne* по отношению к свету

Интерес представляет особенности состава фитоценозов с участием *Arbutus andrachne* по признакам структуры надземных побегов, типа и глубины корневой системы (табл. 2).

Таблица 2

Биоморфологическая структура флоры фитоценозов *Arbutus andrachne* в Крыму

Признаки	Количество видов (доля видов, %)			
	Батилиман	Форос	Ай-Никола	Кастель
Основная биоморфа				
Дерево	5 (12,5)	6 (16,7)	7 (17,5)	5 (19,2)
Кустарник	6 (15,0)	5 (13,9)	4 (10,0)	2 (7,7)
Полукустарничек	5 (12,5)	4 (11,1)	3 (7,5)	0 (0,0)
Поликарпическая трава	21 (52,5)	17 (47,2)	21 (52,5)	10 (38,5)
Многолетний или двулетний монокарпик	1 (2,5)	1 (2,8)	3 (7,5)	0 (0,0)
Однолетник	2 (5,0)	3 (8,3)	2 (5,0)	9 (34,6)
Структура надземных побегов				
Безрозеточные	22 (55,0)	20 (55,6)	19 (47,5)	10 (38,5)
Полурозеточные	13 (32,5)	13 (36,1)	17 (42,5)	13 (50,0)
Розеточные	5 (12,5)	3 (8,3)	4 (10,0)	3 (11,5)
Структура корневой системы				
Стержнекорневая	28 (70,0)	24 (66,7)	25 (62,5)	17 (65,4)
Кистекоорневая	12 (30,0)	12 (33,3)	15 (37,5)	9 (34,6)
Глубина залегания корневой системы				
Короткая	5 (12,5)	5 (13,9)	5 (55,5)	11 (42,3)
Средняя	6 (15,0)	5 (13,9)	8 (20,0)	2 (7,8)
Глубокая	29 (72,5)	26 (72,2)	27 (67,5)	13 (50,0)

Анализ биоморфологической структуры травяного яруса показал, что по признаку основной биоморфы с запада на восток наблюдается уменьшение доли участия кустарников (с 15,0 % до 7,7%), поликарпических трав (с 52,5 % до 38,5 %), полукустарничков и многолетних или двулетних монокарпиков, которые полностью выпадают из травяного яруса в восточном местопроизрастании *A. andrachne* на горе Кастель. Здесь же отмечено увеличение числа зимнезеленых однолетников. Они значительно усиливают свое присутствие по сравнению с западными участками, что обусловлено экотопической мозаичностью данного местообитания (табл. 2). По структуре надземных побегов с запада на восток наблюдается снижение числа видов с безрозеточными и розеточными побегами, растения с полурозеточным побегом увеличивают свое доленое участие (с 32,5 % до 50,0 %), что характерно для субсредиземноморских сообществ. Структура корневой системы видов травяного яруса на всех исследуемых участках изменялась незначительно. В спектре биоморф по глубине залегания корневой системы выявлена тенденция повышения с запада на восток процента видов с корневой системой короткого залегания с 12,5 % до 55,5 %. Также отмечено небольшое снижение (с 72,5 % до 50,0 %) доли видов с глубокой корневой системой (табл. 2).

Оценка коэффициентов подобия показала, что наиболее схожи по составу и структуре сообщества Батилимана и Фороса (табл. 3). Минимальный же коэффициент флористического сходства ($K_1=0,11$) имеют центральная ПП Фороса и восточная ПП на горе Кастель. Сообщества здесь сильнее всего различаются по видовому составу, структуре древесного, кустарникового и травяного ярусов.

Сравнительный анализ флористического сходства изучаемых фитоценозов *A. andrachne* показывает, что бинарные коэффициенты Жаккара стремятся к среднему значению, то есть изучаемые растительные сообщества с участием данного вида совпадают только наполовину. Ограниченное использование индекса Жаккара, учитывающего отрицательные совпадения, связано с его большой зависимостью от показателя доли присутствия редких видов, которые, имея низкий уровень представленности, могут не попадать в выборку.

Таблица 3

Коэффициент флористического сходства фитоценозов *Arbutus andrachne* в Крыму

Пробные площади				
	Батилиман	Форос	Ай-Никола	Кастель
Батилиман	×	0,58	0,48	0,16
Форос	0,58	×	0,46	0,11
Ай-Никола	0,48	0,46	×	0,16
Кастель	0,16	0,11	0,16	×

Видами, присутствующими во всех исследованных сообществах с участием *A. andrachne* на территории ЮБК являются: *Allium saxatile* M. Bieb., *Arenaria serpyllifolia* L., *Bromus riparius* Rehm., *Brachypodium pinnatum* (L.) P. Beauv., *Campanula bononiensis* L., *Carex halleriana* Asso, *Dactylis glomerata* L., *Eryngium campestre* L., *Pentanema ensifolium* (L.) D. Gut.Larr., Santos-Vicente, Anderb., E.Rico & M.M.Mart.Ort., *Jasminum fruticans* L., *Jurinea roegneri* K. Koch, *Pimpinella tragium* subsp. *lithophila* (Schischk.) Tutin, *Stipa bromoides* (L.) Dörf., *Laser trilobum* (L.) Borkh., *Ornithogalum ponticum* Zahar., *Ruscus aculeatus* L., *Thymus roegneri* K. Koch и *Teucrium chamaedrys* L.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка современного состояния древостоев *A. andrachne* в Южном Крыму свидетельствует, что в целом они характеризуются сравнительно невысокими таксационными показателями. Наибольший диаметр и высоту имеют насаждения в западных местообитаниях.

В экологическом ряду гидроморф во всех исследованных сообществах преобладают ксеромезофиты, а в географическом распределении с запада на восток наблюдается увеличение доли ксеромезофитов и уменьшение мезофитов до полного их исчезновения в наиболее аридном восточном рефугиуме.

Снижение численности светолюбивых видов растений в фитоценозах *A. andrachne* в центральной части обусловлена наличием здесь сомкнутого древесного полога, который снижает интенсивность светового потока, достигающего травяного яруса и свидетельствует об оптимальных условиях для развития *A. andrachne* в центральном рефугиуме (Форос).

Изменения биоморфологической структуры растительных сообществ с участием *A. andrachne* при продвижении с запада на восток незначительны. Наблюдается тенденция уменьшения доли участия кустарников, поликарпических трав, полукустарничков, многолетних или двулетних монокарпиков. В восточном рефугиуме отмечено существенное увеличение численности зимнезеленых однолетников, что обусловлено отсутствием здесь сомкнутого полога древесных растений и экотопической пестротой местообитания.

По признаку структуры надземных побегов в сообществах с запада на восток наблюдается уменьшение числа видов с безрозеточными и розеточными побегами, при этом виды с полурозеточными побегами увеличивают свое присутствие, преобладая в восточном рефугиуме.

Анализ компонентов по признаку глубины корневой системы выявил увеличение с запада на восток доли видов с корневой системой короткого залегания.

Экологическое влияние климатических и эдафических условий местообитаний *A. andrachne*, исторически сложившихся на стыках ландшафтов, обусловило высокую степень

структурного сходства сообществ с участием *A. andrachne*, где ценотическое ядро составляют одни и те же виды. Аридность условий является ключевым параметром всех локалитетов *A. andrachne*, тем не менее, различная степень аридности этих местообитаний, которая увеличивается в направлении с запада на восток, прямо влияет на структурные флуктуации в сообществах.

Список литературы

- Алексеев В. А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. – 1997. – № 4. – С. 51–57.
- Анучин Н. П. Лесная таксация: Учебник для вузов. – М.: Лесная промышленность, 1982. – 552 с.
- Голубев В. Н. Биологическая флора Крыма. – Ялта: Никитский ботанический сад, 1996. – 126 с.
- Голубев В. Н., Корженевский В. В. Методические рекомендации по геоботаническому изучению и классификации растительности Крыма. – ГНБС: Ялта, 1985. – 48 с.
- Голубева И. В., Балак О. В. Семенная продуктивность популяций земляничника мелкоплодного (*Arbutus andrachne* L.) на Южном берегу Крыма // VII съезд Украинского ботанического общества. – Киев, 1982. – С. 263–264.
- Ена Ан. В., Ена В. Г. Четвертичная вечнозеленая листовая дендрофлора как палеоэкологический индикатор (на примере Крыма) // ИНКВА. Международный союз по изучению четвертичного периода. XI Конгресс. Москва, август 1982: тез. докл. – М., 1982. – Т. 3. – С. 133–134
- Ена Ан. В. Местообитания *Arbutus andrachne* L. в Горном Крыму и вопросы их охраны // VII съезд Украинского ботанического общества. – Киев, 1982. – 265 с.
- Ена Ан. В. Реликтовый земляничник // Природа – 1990. – № 12. – С. 42–48.
- Ена Ан. В. Современное состояние крымских популяций земляничника мелкоплодного // Природоохранные аспекты изучения горного Крыма. – Симферополь, 1986. – С. 26–30.
- Ена В. Г., Кострицкий М. Е. Крымский полуостров. Географический очерк / Серия «Природа Крыма». – Симферополь: Крым, 1966. – 63 с.
- Изюмский П. П. Таксация тонкомерного леса. – М.: Лесная промышленность. – 1972. – 87 с.
- Исиков В. П., Плугатарь Ю. В., Коба В. П. Методы исследования лесных экосистем Крыма. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2014. – 252 с.
- 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 РАН. – 2003. – Вып. 186. – С. 32–63.
- Куликов Г. В., Лялин Г. С. Земляничник мелкоплодный в заповеднике «Мыс Мартыан» // Бюллетень Никитского ботанического сада. – 1975. – Вып. 98. – С. 59–63.
- Лакин Г. Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа. – 1990. – 352 с.
- Плугатарь Ю. В., Коба В. П., Новицкий М. Л., Пшеничников Н. А., Папельбу В. В. Почвенные условия в насаждениях *Arbutus andrachne* L. Южного берега Крыма // Земледелие. – 2022. – № 8. – С. 7–12.
- Шмидт В. М. Статистические методы в сравнительной флористике. – Л.: Наука. – 1980. – С. 176.
- Эггерс Е. В. Земляничное дерево в Крыму // Бюллетень Никитского ботанического Сада. – 1934. – Вып. 14. – С. 3–38.
- Westhoff V., van der Maarel E. The Braun-Blanquet approach. Classification of plant communities. The Hague: Junk. – 1978. – P. 287–399.
- World Flora Online (WFO). URL: <https://www.worldfloraonline.org>. (дата обращения: 25.03.2022).

Nikiforov A. R., Papelbu V. V., Pshenichnikov N. A. Features of the floral composition, ecological and biological structure of plant communities of the strawberry tree formation (*Arbuteta andrachnis*) of the Southern Coast of Crimea // Ekosistemy. 2023. Iss. 36. P. 30–38.

The population of the Greek strawberry tree was formed in the Southern Crimea at the end of the Miocene and survived to the present due to a unique combination of abiotic factors. The complex of these factors, which determined the favorable conditions for the development of *Arbutus andrachne* L. in specific ecotopes, allowed this relic to survive with minimal changes in local refugiums during the global climatic transformations of the Pleistocene. Therefore, not only the vegetation of the strawberry tree itself is of interest, but also the accompanying species in the vegetation communities involving *A. andrachne*. These communities, which are homologous to the Mediterranean maquis (maquisoid vegetation of the Crimean Sub-Mediterranean region), can be distinctively classified as the *Arbuteta andrachnis* formation. Their floral composition, ecological and biological structure act as standards of Mediterranean vegetation in the extreme north-east of its area. The identification of the complete floral composition of plant communities involving *A. andrachne* allowed us to assess their composition by some ecologically important features: relation to the modes of humidification and light regime; the main biormorph, shoot structure and root system depth. It is determined that *A. andrachne* stands in western Crimean localities have optimal characteristics according to taxation indicators. The ecological range of hydromorphs in all communities is dominated by xeromesophytes; from west to east there is a tendency for increase of xeromesophytes and decrease of mesophytes with their complete extinction in the most arid eastern refugium. In the ecological series of ecomorphs related to light, shade-enduring plants predominate in the central localities while heliophytes predominate in the western and eastern refugiums. Regarding to the main biormorph, polycarpous grasses predominate in plant communities; according to the structure of aboveground shoots of the herbaceous layer from west to east, there is a decrease in the number of species with rosetteless and rosette shoots, while plants with semi-rosette shoots increase their share. In the spectrum of biormorphs, based on the depth of the root system from west to east, there is a tendency for increase in the representation of species with a shallow-rooted system. Interesting features are noted in the floral composition of plantings on Mount Castel, in the east of the *A. andrachne* area in the Southern Crimea. Here, the strawberry tree is represented by small woodlands, and the communities have the lowest level of species diversity. In modern conditions *A. andrachne* demonstrates natural adaptation processes and implements mechanisms for the sustainable development of natural populations of this species, forming a special type of maquis vegetation.

Key words: *Arbutus andrachne* L., Southern Crimea, phytocenosis, floral composition, ecomorphs.

Поступила в редакцию 05.05.23

Принята к печати 05.07.23

Сравнительный анализ макрозообентоса псевдолиторали бухты Казачья (Крым, Чёрное море) в периоды 2007–2010 и 2021–2022 годов

Копий В. Г., Бондаренко Л. В.

Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН
Севастополь, Россия
verakopiy@gmail.com; bondarenko.luda@gmail.com

Изучено современное состояние макрозообентоса зоны псевдолиторали бухты Казачья и проведён сравнительный анализ его качественного состава и количественных показателей в разные периоды и сезоны исследования. За 2007–2010 и 2021–2022 годы обнаружено 86 видов макрозообентоса, относящихся к разным таксономическим категориям: Polychaeta (36 видов), Crustacea (33), Mollusca (13), Platyhelminthes, Oligochaeta, Chironomidae и Nemertea. Их количество к 2022 году увеличилось в 1,6 раза. Дополнительно в список включены 38 видов гидробионтов, 14 видов макрозообентоса найдены только в 2007–2010 годах. Средние значения численности и биомассы макрозообентоса в 2007–2010 годах варьируют в пределах от 774 ± 176 до 4051 ± 306 экз./м² и от $0,585 \pm 0,216$ до $12,57 \pm 0,033$ г/м² соответственно. В 2021–2022 годах они изменяются от 24 ± 17 до 7352 ± 3514 экз./м² и от $0,021 \pm 0,016$ до $18,945 \pm 11,557$ г/м² соответственно. В оба периода максимальная численность макрозообентоса отмечена летом, сформирована она полихетами. Наибольшая биомасса в 2007–2010 годах зарегистрирована летом, в 2021–2022 годах – осенью. Значительный вклад в данный показатель в оба периода внесли моллюски. Трофическая структура макрозообентоса представлена поли-, детрито-, фитофагами и плотоядными животными. В 2007–2010 годах зимой в 43 % проб отмечены олигохеты, с апреля по сентябрь массовым видом была *Hydrobia acuta* (Draparnaud, 1805), которая относится к растительным детритофагам. Тогда как в 2021–2022 годах наибольшее количество массовых видов отмечено в осенне-зимний период, среди них доминировал *Saccocirrus papillocercus* Bobretzky, 1872. Весной и летом по встречаемости доминировали полихеты *Capitella capitata* (Fabricius, 1780), *Salvatoria clavata* (Claparède, 1863), *Microphthalmus fragilis* Bobretzky, 1870 и амфипода *Pectenogammarus foxi* (Schellenberg, 1928) – представители поли- и фитофагов. Изменение количества и таксономического разнообразия массовых видов с различным типом питания в разные сезоны можно связать с периодом размножения гидробионтов и изменением кормовой базы.

Ключевые слова: псевдолитораль, макрозообентос, численность, биомасса, бухта Казачья, Чёрное море.

ВВЕДЕНИЕ

Бухта Казачья является западной частью Двойной бухты, она располагается на юго-западе Крыма. С востока ограничена небольшим полуостровом с мысом Манганари, а с запада – мысом Херсонес (рис. 1). Южная часть бухты разделена мысом Святого Климента на два «рукава»: западный и восточный, с севера имеет открытый выход в море. Расстояние от вершины восточного «рукава» до мыса Манганари составляет около 2,8 км, расстояние от вершины западного «рукава» до мыса Западный – 2,4 км (Копий и др., 2017; Беляева, 2018; Латушкин и др., 2019). Максимальная ширина бухты 1,13 км. Подводный склон отмельный, бенч в виде непрерывной полосы, сужается к вершине бухты, в его границах встречаются крупные известковые глыбы, ракушечник и песчаные отложения (Особо охраняемые..., 2020). Берега высокие, пологие и окаймлены отмелями. От вершины к устью бухта ориентирована по оси юг-север и поэтому при северных ветрах её акватория подвержена сильному волновому воздействию. Побережье представляет собой неширокие и прерывистые отвесные абразионные обрывы с обособленными группами глыб известкового и вулканического происхождения, а также галечные пляжи (Рябушко и др., 2019). Этот район наиболее удалён от устьев рек и поэтому менее подвержен их влиянию (Александров, 2018).

В последние десятилетия на берегах бухты возводятся коттеджи и многоэтажные дома. Береговыми источниками загрязняющих веществ являются нефтехранилище, дельфинарий и хозяйственно-бытовые стоки, поступающие из посёлка бухты Казачья. Кроме этого, к

факторам, влияющим на экологическое состояние бухты, относятся загрязняющие вещества, поступающие с внешнего рейда. Активная застройка берегов бухты и развитие новой селитебной зоны с соответствующей инфраструктурой, площадь и население которой с каждым годом растут, привели к значительному увеличению антропогенной нагрузки на экосистему бухты Казачья (Рябцев, 2001; Миронов и др., 2002; Копий и др., 2017; Котельянец и др., 2017; Александров, 2018; Беляева, 2018; Латушкин и др., 2019; Соловьёва и др., 2019; Орехова, 2021).

Постоянно действующие источники органического загрязнения привели к значительному его накоплению. Высокие концентрации органического углерода (4,32–7,86 %) обуславливают то, что кислород не является основным компонентом при его окислении, а в донных отложениях преобладают анаэробные условия. В придонном слое вод концентрация кислорода соответствует 97 % насыщения. На поверхности осадка концентрация кислорода снижается до 200 мкМ (80 % насыщения). Концентрация сероводорода в донных отложениях значительно выше, чем в других бухтах Севастопольского региона (Orekhova, Konovalov, 2018; Орехова и др., 2019).

На состояние биоты участка псевдолиторали существенное влияние оказывает рекреационная нагрузка. В связи с тем, что бухта Казачья является полузамкнутой акваторией эстуарного типа, её способность к биологической очистке ограничена, поэтому при использовании ресурсов бухты должны соблюдаться условия по её охране (Михайлова, Беляева, 2005).

Изучению видового состава и количественных характеристик макрозообентоса прибрежной зоны бухты Казачья посвящено небольшое количество работ (Маккавеева, 1992; Михайлова, Беляева, 2005). Данные о сообществах зоны псевдолиторали вдоль черноморского побережья Крыма носят фрагментарный характер (Мокиевский, 1949; Копий, 2014; Копий и др., 2017) и не могут в полной мере отразить объективную картину состояния исследуемых сообществ. Интерес к исследованию краевых, или контактных, зон моря связан, прежде всего, с их наименьшей изученностью по сравнению с другими зонами бентали. Изучение процессов формирования и функционирования морских сообществ контактных зон позволяют получить информацию о направлениях и темпах развития экосистем и их деградации в естественных условиях и при антропогенных нагрузках.

Учитывая вышесказанное, данная работа направлена на изучение современного состояния макрозообентоса псевдолиторали бухты Казачья с целью проведения сравнительного анализа его качественного состава и количественных показателей в разные периоды и сезоны 2007–2010 и 2021–2022 годов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В основу работы положены материалы бентосных съёмок рыхлых грунтов псевдолиторали акватории бухты Казачья. Отбор проб осуществляли в июне, сентябре 2021 года и январе, апреле, июне 2022 года на трёх разрезах: 1 – в кутовой части, 2 – в западном рукаве бухты, 3 – в восточном её рукаве (рис. 1).

На каждом разрезе, расположенном перпендикулярно берегу, пробы отбирали в трёх точках: в зоне уреза воды, ниже уреза воды на 0,5 и 1 м. Урезом воды считали среднюю линию между верхним и нижним краями заплеска. Расстояние между смежными точками составляло 50 см. Сбор материала проводили ручным дночерпателем ($S=0,04 \text{ м}^2$) в двух повторностях. Всего отобрано 68 проб.

В лаборатории грунт промывали через сито с диаметром ячеек 0,5 мм и просматривали под биноклем, затем макрозообентос распределяли по группам. Полихет, ракообразных и моллюсков идентифицировали до вида (Определитель..., 1972; Чухчин, 1984; Киселева, 2004; Grintsov, Sezgin, 2011; Гринцов, 2022). Таксономическая принадлежность приведена в соответствие с базой данных World Register of Marine Species (2023).

При описании количественного развития фауны использованы показатели численности (N , экз./ м^2) и биомассы (B , $\text{г}/\text{м}^2$).

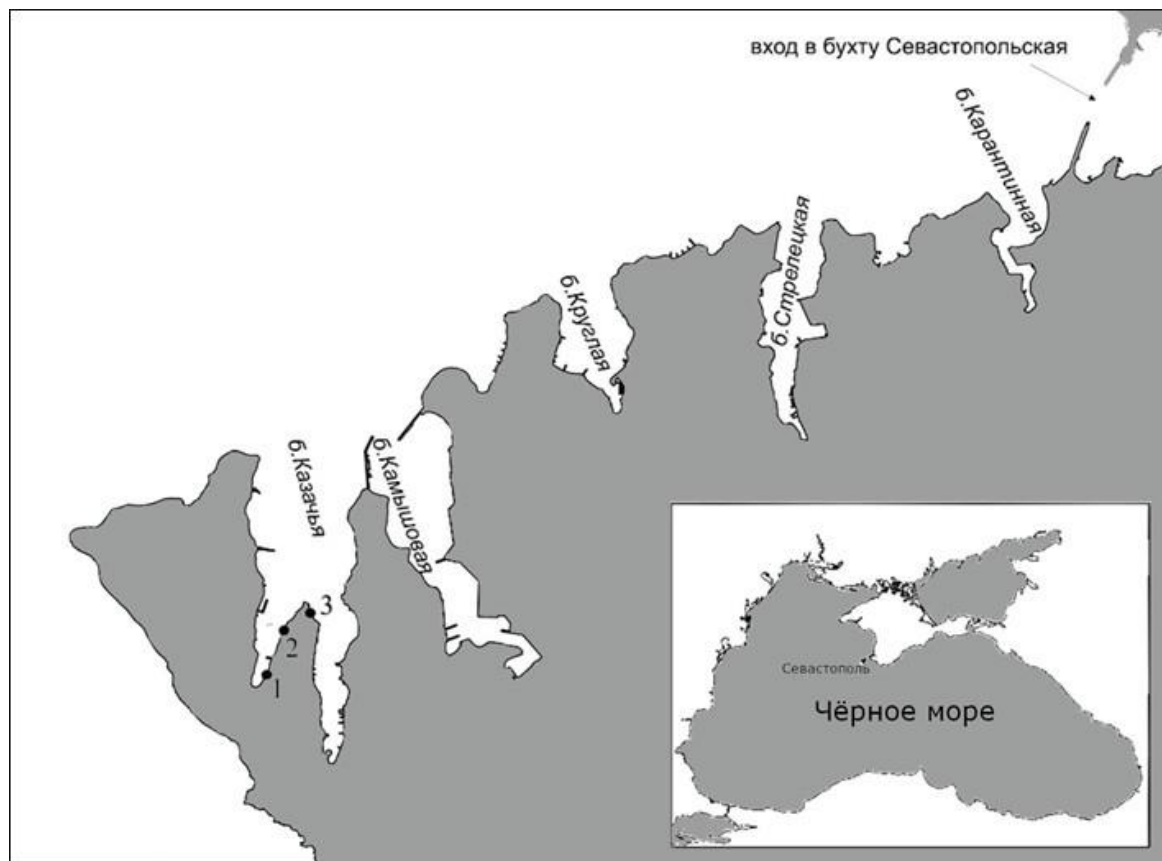


Рис. 1. Карта-схема районов исследования

Для определения фаунистического сходства использовался индекс Чекановского-Сёренсена (Сёмкин, Горшков, 2010):

$$i = 2c/(a + b),$$

где: a и b – число видов в сравниваемых списках, c – число общих видов.

Трофическую принадлежность макрозообентоса определяли, используя данные литературных источников (Грезе, 1977; Чухчин, 1984; Киселева, 2004).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Видовой состав и количественные показатели макрозообентоса рыхлых грунтов псевдолиторали бухты Казачья в периоды исследований 2007–2010 и 2021–2022 годов представлены в таблице 1. Сезонное время и точки отбора проб в разные периоды исследований полностью совпадали. За период наблюдения 2021–2022 годов идентифицировано 70 видов макрозообентоса, относящихся к разным таксономическим категориям: Polychaeta (32 вида), Crustacea (26), Mollusca (8). Представители классов Clitellata (Oligochaeta), Hexapoda (Chironomidae), а также типов Platyhelminthes и Nemertea до вида не идентифицированы. Каждый из этих таксонов рассматривали как один вид.

Видовой состав и количественные показатели макрозообентоса в различные сезоны года неодинаковы. Летом наступает период наиболее активных процессов в гидроценозах – самый информативный период для оценки количественных и качественных характеристик бентоса. В связи с этим наибольшее количество видов (61) обнаружено в летний период, весной обнаружен 31 вид, осенью – 27, зимой – 5.

Таблица 1

Видовой состав и количественные показатели макрозообентоса рыхлых грунтов псевдолиторали бухты Казачья в различные периоды исследования

Виды	Июнь		Сентябрь		Январь		Апрель	
	2007– 2010	2021– 2022	2007– 2010	2021– 2022	2007– 2010	2021– 2022	2007– 2010	2021– 2022
	$\frac{N}{B}$	$\frac{N}{B}$	$\frac{N}{B}$	$\frac{N}{B}$	$\frac{N}{B}$	$\frac{N}{B}$	$\frac{N}{B}$	$\frac{N}{B}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Polychaeta								
<i>Alitta succinea</i> (Leuckart, 1847)	–	$\frac{30}{0,06}$	–	–	–	–	–	–
<i>Capitella capitata</i> (Fabricius, 1780)	$\frac{82}{0,099}$	$\frac{679}{0,114}$	$\frac{679}{0,114}$	$\frac{1588}{0,442}$	$\frac{41}{0,013}$	–	$\frac{43}{0,041}$	$\frac{264}{0,256}$
<i>Caulleriella bioculata</i> (Keferstein, 1862)	–	$\frac{1}{0,028}$	–	–	–	–	–	–
<i>Eumida sanguinea</i> (Ørsted, 1843)	–	$\frac{1}{0,0002}$	–	–	–	–	–	–
<i>Eunereis longissima</i> (Johnston, 1840)	$\frac{2}{0,0008}$	$\frac{1}{0,002}$	–	–	–	–	–	–
<i>Exogone naidina</i> (= <i>Exogone gemmifera</i>) Ørsted, 1845	–	–	–	–	–	–	$\frac{4}{0,004}$	–
<i>Fabricia stellaris</i> (Müller, 1774)	–	$\frac{1}{0,0002}$	–	–	$\frac{6}{0,003}$	–	–	–
<i>Genetyllis tuberculata</i> (Bobretzky, 1868)	–	–	–	$\frac{2}{0,002}$	–	–	–	–
<i>Hediste diversicolor</i> (O.F. Müller, 1776)	$\frac{1}{0,015}$	$\frac{1}{0,001}$	$\frac{9}{0,179}$	–	–	–	–	–
<i>Heteromastus filiformis</i> (Claparède, 1864)	–	–	–	$\frac{73}{0,016}$	–	–	–	–
<i>Leiochone leiopygos</i> (Grube, 1860)	–	$\frac{1}{0,0004}$	–	–	–	–	–	–
<i>Lindrilus flavocapitatus</i> (Uljanina, 1877)	–	$\frac{1785}{0,066}$	–	$\frac{1505}{0,047}$	–	–	–	$\frac{136}{0,003}$
<i>Malacoceros tetracerus</i> (= <i>Scolecopsis ciliatus</i>) (Schmarda, 1861)	$\frac{2}{0,001}$	$\frac{2}{0,001}$	–	–	–	–	–	–
<i>Micronephthys longicornis</i> (Perejaslavitseva, 1891)	–	$\frac{1}{0,0004}$	–	–	–	–	–	–
<i>Microphthalmus fragilis</i> Bobretzky, 1870	$\frac{315}{0,078}$	$\frac{87}{0,025}$	$\frac{121}{0,008}$	$\frac{150}{0,02}$	–	–	$\frac{154}{0,025}$	$\frac{5}{0,001}$
<i>Microspio mecznikowiana</i> (Claparède, 1869)	$\frac{3}{0,003}$	–	–	–	–	–	–	–
<i>Mysta picta</i> (Quatrefages, 1866)	–	$\frac{1}{0,004}$	–	–	–	–	–	–
<i>Namanereis pontica</i> (Bobretzky, 1872)	$\frac{20}{0,003}$	$\frac{1}{0,002}$	–	–	$\frac{4}{0,004}$	–	–	–
Nereididae Blainville, 1818	–	$\frac{34}{0,026}$	$\frac{2}{0,005}$	$\frac{3}{0,003}$	–	–	$\frac{9}{0,004}$	$\frac{4}{0,006}$
<i>Nereis zonata</i> Malmgren, 1867	–	$\frac{46}{0,03}$	–	–	$\frac{2}{0,005}$	–	–	–
<i>Notomastus latericeus</i> Sars, 1851	–	$\frac{2}{0,0004}$	–	$\frac{6}{0,005}$	–	–	–	–
<i>Perinereis cultrifera</i> (Grube, 1840)	–	–	$\frac{3}{0,039}$	–	–	–	–	–
<i>Phyllodoce maculata</i> (Linnaeus, 1767)	–	–	–	–	–	–	–	$\frac{2}{0,005}$

Сравнительный анализ макрозообентоса псевдолиторали бухты Казачья (Крым, Чёрное море) в периоды 2007–2010 и 2021–2022 годов

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Pisone remota</i> (Southern, 1914)	$\frac{8}{0,008}$	$\frac{23}{0,026}$	–	$\frac{16}{0,005}$	–	–	–	$\frac{4}{0,002}$
<i>Platynereis dumerilii</i> (Audouin & Milne Edwards, 1833)	–	$\frac{1}{0,011}$	–	$\frac{19}{0,205}$	–	–	–	$\frac{2}{0,043}$
<i>Polycirrus jubatus</i> Bobretzky, 1868	–	$\frac{9}{0,124}$	–	–	–	–	$\frac{8}{0,004}$	–
<i>Polydora cornuta</i> Bosc, 1802	$\frac{1}{0,002}$	–	–	–	–	–	–	–
<i>Polyopthalmus pictus</i> (Dujardin, 1839)	$\frac{1}{0,0008}$	$\frac{3}{0,009}$	–	–	–	–	–	$\frac{2}{0,003}$
<i>Protodorvillea kefersteini</i> (McIntosh, 1869)	$\frac{294}{0,063}$	$\frac{38}{0,032}$	$\frac{11}{0,004}$	–	$\frac{3}{0,001}$	–	–	$\frac{2}{0,004}$
<i>Saccocirrus papillocercus</i> Bobretzky, 1872	$\frac{1889}{0,96}$	$\frac{1073}{0,748}$	$\frac{378}{0,284}$	$\frac{1828}{0,855}$	$\frac{187}{0,231}$	$\frac{4}{0,004}$	$\frac{613}{0,59}$	$\frac{266}{0,08}$
<i>Salvatoria clavata</i> (Claparède, 1863)	$\frac{13}{0,003}$	$\frac{205}{0,028}$	$\frac{15}{0,005}$	$\frac{19}{0,003}$	$\frac{3}{0,001}$	–	$\frac{8}{0,008}$	$\frac{9}{0,002}$
<i>Spio decorata</i> Bobretzky, 1870	$\frac{1}{0,003}$	$\frac{25}{0,017}$	–	$\frac{36}{0,035}$	–	–	–	–
<i>Syllides longocirratu</i> (Ørsted, 1845)	–	$\frac{1}{0,0002}$	–	–	–	–	–	–
<i>Syllis gracilis</i> Grube, 1840	–	$\frac{1}{0,0004}$	–	–	–	–	–	–
<i>Syllis hyalina</i> Grube, 1863	–	–	–	–	–	–	–	$\frac{4}{0,001}$
<i>Syllis prolifera</i> Krohn, 1852	–	$\frac{1}{0,0004}$	–	–	–	–	–	–
Bcero	$\frac{2632}{1,2396}$	$\frac{4054}{1,358}$	$\frac{623}{0,572}$	$\frac{5245}{1,665}$	$\frac{246}{0,258}$	$\frac{4}{0,004}$	$\frac{852}{0,886}$	$\frac{700}{0,406}$
Crustacea								
<i>Ampelisca diadema</i> (Costa, 1853)	–	$\frac{2}{0,003}$	–	–	–	–	–	–
<i>Ampelisca sevastopoliensis</i> Grintsov, 2011	–	$\frac{1}{0,0002}$	–	–	–	–	–	$\frac{2}{0,053}$
<i>Ampithoe ramondi</i> Audouin, 1826	–	$\frac{3}{0,001}$	–	–	–	–	–	$\frac{2}{0,0007}$
<i>Apohyale perieri</i> (Lucas, 1846)	–	$\frac{9}{0,001}$	–	–	–	–	–	–
<i>Apohyale prevostii</i> (H. Milne Edwards, 1830)	–	$\frac{4}{0,002}$	–	–	–	–	–	–
<i>Caprella acanthifera</i> Leach, 1814	–	$\frac{1}{0,0002}$	–	–	–	$\frac{4}{0,0004}$	–	–
<i>Chondrochelia savignyi</i> (Kroyer, 1842)	–	$\frac{8}{0,0012}$	–	$\frac{2}{0,00008}$	–	$\frac{4}{0,0004}$	–	–
<i>Monocorophium insidiosum</i> (Crawford, 1937),	$\frac{13}{0,0025}$	–	–	–	–	–	–	–
<i>Cumella (Cumella) limicola</i> Sars, 1879	–	$\frac{1}{0,00004}$	–	–	–	–	–	–
<i>Dexamine spinosa</i> (Montagu, 1813)	–	$\frac{1}{0,0002}$	–	–	–	–	–	$\frac{2}{0,0004}$
<i>Echinogammarus</i> sp.	$\frac{2}{0,0008}$	–	–	–	–	–	–	–
<i>Eurydice dollfusi</i> Monod, 1930	$\frac{2}{0,004}$	$\frac{6}{0,008}$	$\frac{4}{0,0006}$	–	–	–	–	–
<i>Gammarellus carinatus</i> (Rathke, 1837)	–	–	–	–	–	–	–	$\frac{4}{0,001}$

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Gammarus insensibilis</i> Stock, 1966	–	$\frac{41}{0,02}$	–	–	–	–	–	–
<i>Idotea balthica</i> (Pallas, 1772)	–	$\frac{3}{0,003}$	–	–	–	–	–	$\frac{4}{0,006}$
<i>Iphinoe elisae</i> Băcescu, 1950	–	$\frac{2}{0,0005}$	–	$\frac{2}{0,00008}$	–	–	–	–
<i>Iphinoe tenella</i> Sars, 1878	$\frac{7}{0,002}$	–	–	–	–	–	–	–
<i>Lekanesphaera hookeri</i> (Leach, 1814)	$\frac{8}{0,002}$	$\frac{1}{0,02}$	–	–	–	–	–	–
<i>Melita palmata</i> (Montagu, 1804)	$\frac{9}{0,003}$	$\frac{1}{0,0004}$	–	–	–	–	–	–
<i>Microdeutopus gryllotalpa</i> Costa, 1853	–	$\frac{80}{0,035}$	–	–	–	–	–	$\frac{25}{0,005}$
<i>Microdeutopus</i> sp.	–	$\frac{2}{0,0005}$	–	–	–	–	–	$\frac{27}{0,004}$
<i>Microdeutopus versiculatus</i> (Spence Bate, 1857)	–	$\frac{93}{0,049}$	–	–	–	–	–	–
<i>Microprotopus</i> sp.	–	–	–	–	–	–	–	$\frac{2}{0,0002}$
<i>Monocorophium acherusicum</i> (Costa, 1853)	–	$\frac{1509}{0,514}$	–	$\frac{73}{0,014}$	–	–	–	$\frac{66}{0,018}$
<i>Orchestia gammarellus</i> (Pallas, 1766)	$\frac{328}{0,228}$	$\frac{2}{0,001}$	$\frac{15}{0,011}$	–	–	–	–	$\frac{2}{0,038}$
<i>Palaemon elegans</i> Rathke, 1836	–	$\frac{1}{0,453}$	–	–	–	–	–	–
<i>Pectenogammarus foxi</i> (= <i>Echinogammarus foxi</i>) (Schellenberg, 1928)	–	$\frac{790}{0,095}$	–	$\frac{389}{0,083}$	–	–	–	$\frac{716}{0,184}$
<i>Plumulojassa ocia</i> (= <i>Jassa ocia</i>) (Spence Bate, 1862)	–	–	$\frac{2}{0,0001}$	–	–	–	–	–
<i>Sphaeroma serratum</i> (J. C. Fabricius, 1787)	$\frac{5}{0,002}$	$\frac{2}{0,0005}$	–	–	–	–	$\frac{3}{0,001}$	–
<i>Stenosoma capito</i> (= <i>Synisoma</i> <i>capito</i>) (Rathke, 1836)	–	–	–	–	–	–	$\frac{1}{0,001}$	–
<i>Tanais dulongii</i> (Audouin, 1826)	–	$\frac{9}{0,006}$	–	$\frac{2}{0,0003}$	–	–	–	–
Bcero	$\frac{365}{0,242}$	$\frac{2572}{1,213}$	$\frac{21}{0,012}$	$\frac{546}{0,1805}$	0	$\frac{8}{0,0008}$	$\frac{3}{0,052}$	$\frac{852}{0,31}$
Mollusca								
<i>Abra segmentum</i> (Récluz, 1843)	$\frac{46}{0,077}$	$\frac{3}{0,139}$	$\frac{66}{0,474}$	$\frac{306}{5,797}$	2 0,233	–	$\frac{12}{0,163}$	$\frac{14}{0,229}$
Cardiidae (Lamarck, 1809)	$\frac{2}{0,119}$	–	–	–	–	–	–	–
<i>Cerastoderma glaucum</i> (Bruguère, 1789)	$\frac{30}{8,217}$	$\frac{14}{0,93}$	–	$\frac{13}{10,781}$	–	–	$\frac{1}{0,046}$	$\frac{4}{7,5}$
<i>Chamelea gallina</i> (Linnaeus, 1758)	–	–	–	–	–	–	$\frac{1}{0,259}$	–
<i>Hydrobia acuta</i> (Draparnaud, 1805)	$\frac{229}{0,738}$	$\frac{1}{0,002}$	$\frac{700}{1,166}$	–	$\frac{11}{0,026}$	–	$\frac{63}{0,137}$	–
<i>Irus irus</i> (Linnaeus, 1758)	–	–	–	$\frac{2}{0,025}$	–	–	–	–
<i>Loripes orbiculatus</i> Poli, 1795	–	–	–	–	–	–	$\frac{2}{0,047}$	$\frac{2}{0,036}$
<i>Mytilaster lineatus</i> (Gmelin, 1791)	–	$\frac{4}{0,049}$	$\frac{2}{0,034}$	–	–	–	$\frac{1}{0,068}$	–
<i>Mytilus galloprovincialis</i> (Lamarck, 1819)	$\frac{6}{1,483}$	–	–	–	–	–	–	–

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Parvicardium exiguum</i> (Gmelin, 1791)	–	$\frac{1}{0,012}$	–	$\frac{16}{0,313}$	–	–	–	–
<i>Setia valvatoides</i> Milaschewitsch, 1909	$\frac{1}{0,001}$	–	–	–	–	–	–	–
<i>Tritia neritea</i> (=Cyclope neritea) (Linnaeus, 1758)	$\frac{5}{0,189}$	–	$\frac{2}{0,192}$	–	–	–	–	$\frac{5}{1,941}$
<i>Truncatella subcylindrica</i> (Linnaeus, 1767)	–	–	–	–	$\frac{1}{0,004}$	–	–	–
Всего	$\frac{319}{10,824}$	$\frac{23}{1,132}$	$\frac{770}{1,866}$	$\frac{337}{16,916}$	$\frac{14}{0,263}$	0	$\frac{80}{0,72}$	$\frac{25}{9,706}$
Platyhelminthes	$\frac{88}{0,016}$	$\frac{184}{0,014}$	$\frac{271}{0,043}$	$\frac{56}{0,019}$	$\frac{440}{0,026}$	–	$\frac{268}{0,132}$	$\frac{9}{0,548}$
Oligochaeta	$\frac{554}{0,138}$	$\frac{413}{0,066}$	$\frac{30}{0,01}$	$\frac{14}{0,002}$	$\frac{68}{0,029}$	$\frac{4}{0,003}$	$\frac{197}{0,086}$	$\frac{32}{0,012}$
Nemertea	$\frac{70}{0,07}$	$\frac{68}{0,147}$	$\frac{14}{0,042}$	$\frac{53}{0,139}$	$\frac{4}{0,007}$	$\frac{8}{0,013}$	$\frac{71}{0,127}$	$\frac{258}{0,44}$
Chironomidae	$\frac{23}{0,042}$	$\frac{38}{0,012}$	$\frac{7}{0,019}$	$\frac{39}{0,025}$	$\frac{2}{0,002}$	–	$\frac{2}{0,004}$	$\frac{4}{0,001}$
ИТОГО	$\frac{4051 \pm 306}{12,572 \pm 0,033}$	$\frac{7352 \pm 3514}{3,941 \pm 1,365}$	$\frac{1736 \pm 215}{2,56 \pm 0,03}$	$\frac{6290 \pm 3898}{18,95 \pm 11,56}$	$\frac{774 \pm 176}{0,585 \pm 0,216}$	$\frac{24 \pm 17}{0,021 \pm 0,016}$	$\frac{1473 \pm 520}{1,989 \pm 0,61}$	$\frac{1880 \pm 890}{11,42 \pm 3 \pm 5,3}$
							$\frac{1}{6}$	

Примечание к таблице. В графе «Виды» указаны современные названия видов, рядом в скобках названия, которые приводились в литературных источниках ранее. В числителе – численность (N, экз./м²), в знаменателе – биомасса (B, г/м²).

В течение всего года зарегистрированы полихета *S. papillocercus*, амфиподы *C. acanthifera*, *Ch. savignyi*, а также Oligochaeta и Nemertea. Только в один из сезонов обнаружены: 30 видов макрозообентоса летом, 3 – осенью, 6 – весной (табл. 1).

Средние значения численности и биомассы макрозообентоса варьируют в пределах от 24±17 до 7352±3514 экз./м² и от 0,021±0,016 до 18,945 ±11,557 г/м² соответственно (табл. 1). Максимальная численность макрозообентоса отмечена летом, сформирована она полихетами (рис. 2).

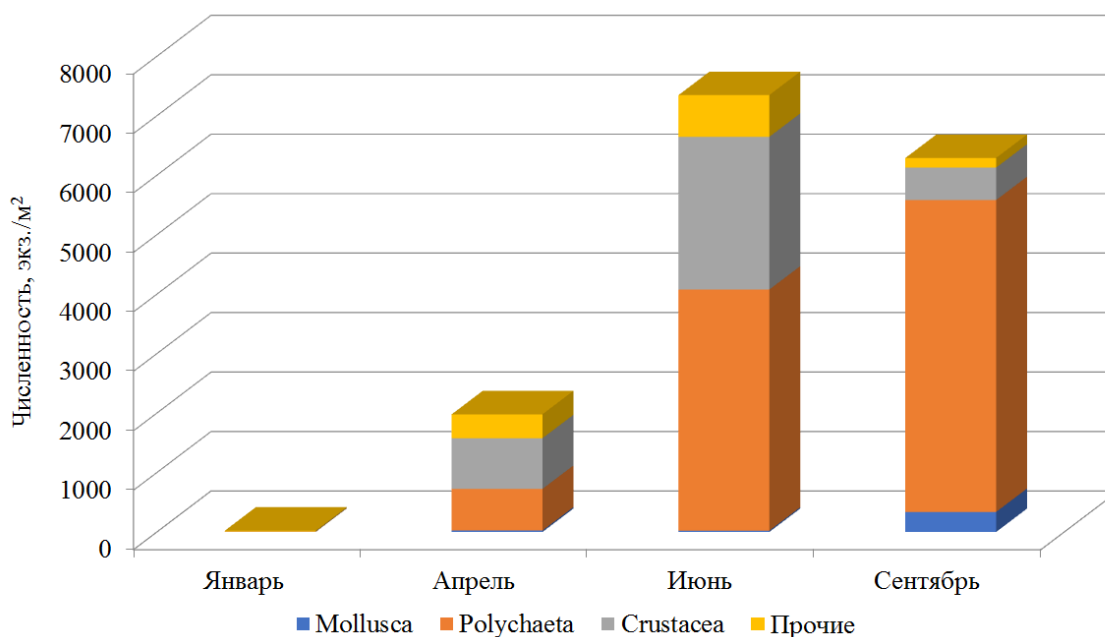


Рис. 2. Численность макрозообентоса в разные сезоны года

Наибольшая биомасса зарегистрирована в осенний период, сформирована она моллюсками (рис. 3).

Зимой в бухте обнаружено наименьшее количество видов и низкие количественные показатели макрозообентоса. На первом и втором разрезе пробы взять не удалось из-за погодных условий. На третьем разрезе зарегистрированы единичные экземпляры полихеты *S. papillocercus*, ракообразные *Ch. savignyi* и *C. acanthifera*, которым не свойственно обитание в илистом грунте. Так же отмечены олигохеты и немуртины. На момент съёмки температура воды составила 7 °С, солёность – 20,4 ‰.

Весной видовой состав макрозообентоса стал значительно богаче и представлен полихетами (12 видов), ракообразными (11), моллюсками (4), также отмечены турбеллярии, олигохеты, немуртины и личинки комара. В это время года по численности доминируют ракообразные (83 %), по биомассе – моллюски (89 %).

Среди полихет наибольший вклад (по 38 %) в общую численность внесли *C. capitata* и *S. papillocercus*, в биомассу – *C. capitata* (63 %). Обычно данная полихета обитает на мягких илистых, песчано-илистых грунтах от уреза воды до глубины 200 м, иногда встречается на водорослях. Эвригалинный вид, переносит значительные колебания солёности от почти пресной воды до 41,5 ‰. Черви выживают при гипоксии и в высоко сульфидных зонах (Tenore, Chesney, 1985; Киселева, 2004; Семин, 2011; Trajanova et al., 2011; Варигин, Рыбалко, 2014; Çinar et al., 2014; Копий, Бондаренко, 2020).

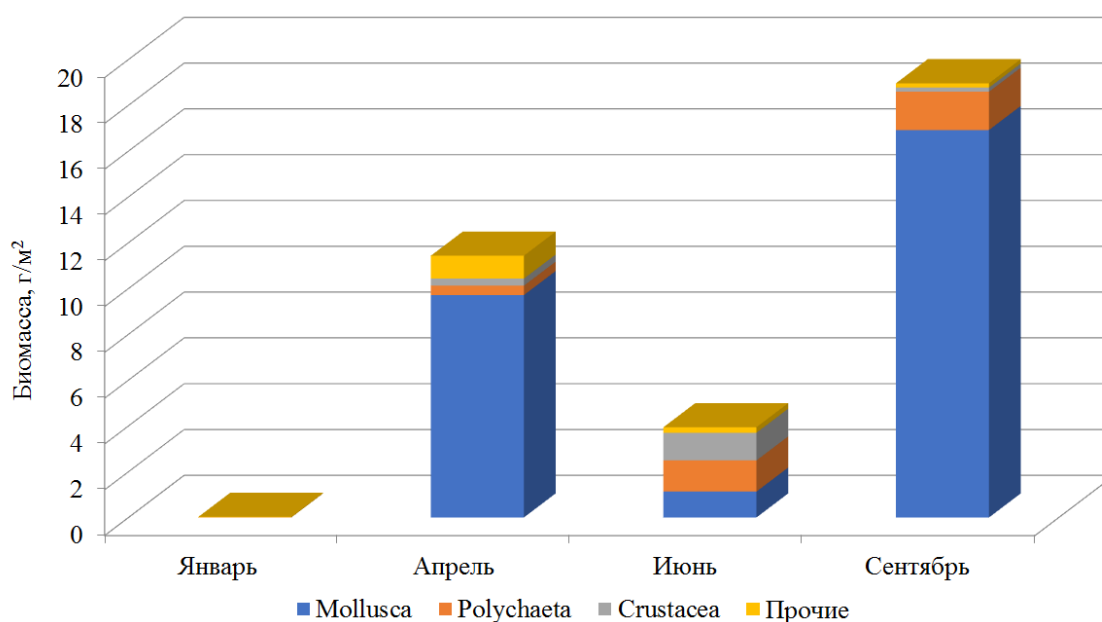


Рис. 3. Биомасса макрозообентоса в разные сезоны года

В наших пробах *C. capitata* встречена на песчаном, песчано-ракушечном и илистом грунте, ниже уреза воды, с численностью от 25 до 2375 экз./м². Температура воды составила 12,9–13,5 °С, солёность – 20,3 ‰.

Среди ракообразных по численности и биомассе доминировал *P. foxi*, его доля в общей численности ракообразных составила 84 %, в биомассе – 59 %.

Моллюски встречены только в кутовой части бухты в единичных экземплярах. Основной вклад (56 %) в общую численность моллюсков внесла *A. segmentum*, в биомассу – *C. glaucum* (77 %).

Плотность поселения и биомасса представителей Platyhelminthes, Oligochaeta, Chironomidae и Nemertea составили соответственно 16 % и 8,76 % от общих показателей макрозообентоса.

Летом макрозообентос бухты представлен полихетами (28 видов), ракообразными (24), моллюсками (5), также отмечены турбеллярии, олигохеты, немертины и личинки комара. По численности и биомассе макрозообентоса доминировали полихеты. На их долю приходилось 55 % общей численности и 34 % биомассы. Доминировали *L. flavocapitatus* (44 % численности полихет) и *S. papillocercus* (55 % биомассы). Известно, что для этих видов характерно обитание в прибрежной зоне. На момент сбора проб температура на разрезах колебалась от 19 до 24 °С, солёность – от 18 до 18,9 ‰.

Из Crustacea доминировал *M. acherusicum*, на его долю приходилось 59 % общей численности ракообразных и 42 % биомассы. Обычно данный вид обитает в прибрежной инфралиторальной зоне на глубине от 0 до 20 м. Предпочитает илистый грунт, но встречается и на песчаном грунте. Ведёт малоподвижный образ жизни, относится к группе амфипод, строящих трубки (Bellan-Santini et al., 1982; Грезе, 1985). В наших пробах на песчаном грунте встречены единичные экземпляры, а в илу его численность варьировала от 525 до 22925 экз./м². Основной вклад в формирование количественных показателей макрозообентоса на песчаных грунтах внёс *P. foxi*, его численность изменялась от 25 до 15900 экз./м².

Моллюски отмечены в единичных экземплярах, поэтому их вклад в общую численность макрозообентоса составил 0,3 %, в биомассу – 29 %.

Плотность поселения и биомасса представителей Platyhelminthes, Oligochaeta, Chironomidae и Nemertea составили соответственно 9,6 % и 2,7 % от общих показателей макрозообентоса.

Осенью макрозообентос представлен полихетами (12 видов), ракообразными (7), моллюсками (4), также отмечены турбеллярии, олигохеты, немертины и личинки комара. Значительный вклад в общую численность макрозообентоса внесли полихеты (83 %), в биомассу – моллюски (89 %).

Среди полихет по численности и биомассе доминировал *S. papillocercus*. Известно (Копий, Лисицкая, 2012), что саккоциррус обитает в поверхностном грунте, между частицами крупнозернистого песка на глубинах от 0 до 50 м. Его численность может значительно колебаться в зависимости от изменения состава грунта или гидрологического режима. Обычно встречается на мелководье, как в эпифауне, так и в инфауне. В Чёрном море вдоль крымского побережья половозрелые особи встречаются с мая по октябрь (Зернов, 1913; Копий, Заика, 2009; Копий, 2014). Согласно нашим исследованиям по сравнению с летним периодом, средняя численность саккоцирруса возросла в 1,7 раза. По-видимому, это связано с процессом размножения в летне-осенний период, так как осенью доминировала молодь.

Среди ракообразных значительный вклад в численность и биомассу внёс *P. foxi*, на его долю приходилось 71 % и 46 % соответственно.

Моллюски встречались только в кутовой части бухты в основном в единичных экземплярах, за исключением *A. segmentum*, максимальная численность которой достигала 4725 экз./м². Вклад абры в общую численность моллюсков составил 91 %. Обычно моллюск ведёт подвижный образ жизни, встречается почти на всех грунтах, но предпочтение отдаёт мягким илистым и песчано-илистым грунтам, которые преобладают в кутовой части бухты. Данный вид обитает при температуре воды до +28–30 °С, выдерживает колебания солёности от 3 до 30 ‰. В общую биомассу моллюсков, несмотря на низкую численность (6 экз.) значительный вклад внесла *C. glaucum* (64 %). Данный вид переносит солёность в диапазоне от 5 до 45,3 ‰. Оба вида эврибионты, могут выживать в анаэробных условиях, обладают высокой выносливостью к содержанию сероводорода и аммиака, встречаются в условиях относительно высокого содержания хлороформэкстрагируемых веществ и нефтяных углеводородов в грунте (Воробьев, 1949; Тихонова, Алёмов, 2012; Копий, Бондаренко, 2020). В наших пробах температура воды составила +22 °С, солёность – 18,5 ‰.

Плотность поселения и биомасса представителей Platyhelminthes, Oligochaeta, Chironomidae и Nemertea составили соответственно 0,026 % и 0,01 % от общих показателей макрозообентоса.

Несмотря на то, что для зоны псевдолиторали характерно невысокое видовое разнообразие, что может быть связано с неблагоприятными условиями обитания, в бухте

Казачья зарегистрировано наибольшее количество видов макрозообентоса, что в 2–5 раз выше, чем в других бухтах Севастопольского региона. Наиболее высокий индекс фаунистического сходства (0,61) отмечен в кутовых частях бухт Круглая и Казачья, что можно связать с одинаковыми условиями обитания в них. Высокий индекс Чекановского-Сёренсена (0,55) отмечен также для псевдолиторали бухты Казачья и юго-восточного побережья Крыма. Для псевдолиторали бухты Казачья и Западного Крыма данный индекс составил 0,35 (Копий, 2014).

В результате обобщения наших данных, полученных при обработке бентосных проб, за периоды наблюдения 2007–2010 (Копий и др., 2017) и 2021–2022 годов в биотопе рыхлых грунтов псевдолиторали бухты Казачья обнаружено 86 видов макрозообентоса, относящихся к разным таксономическим категориям: Polychaeta (36 видов), Crustacea (33), Mollusca (13), Platyhelminthes, Oligochaeta, Chironomidae и Nemertea (табл. 1).

В результате сравнительного анализа выявлено, что количество видов к 2022 году увеличилось в 1,6 раза. Дополнительно в список включены 38 видов гидробионтов. Необходимо отметить, что 14 видов (4 – полихеты, 5 – раки, 5 – моллюски) макрозообентоса, найденные только в 2007–2010 годах, не являются редкими и обитают в других бухтах Севастополя (Макаров и др., 2019; Алёмов, 2021; Болтачева и др., 2022; Макаров, 2022; Копий, 2023). Коэффициент сходства видов за периоды наблюдения 2007–2010 и 2021–2022 годов составил 0,4.

Наибольшее количество видов в выше названные периоды исследования зарегистрировано летом (рис. 4).

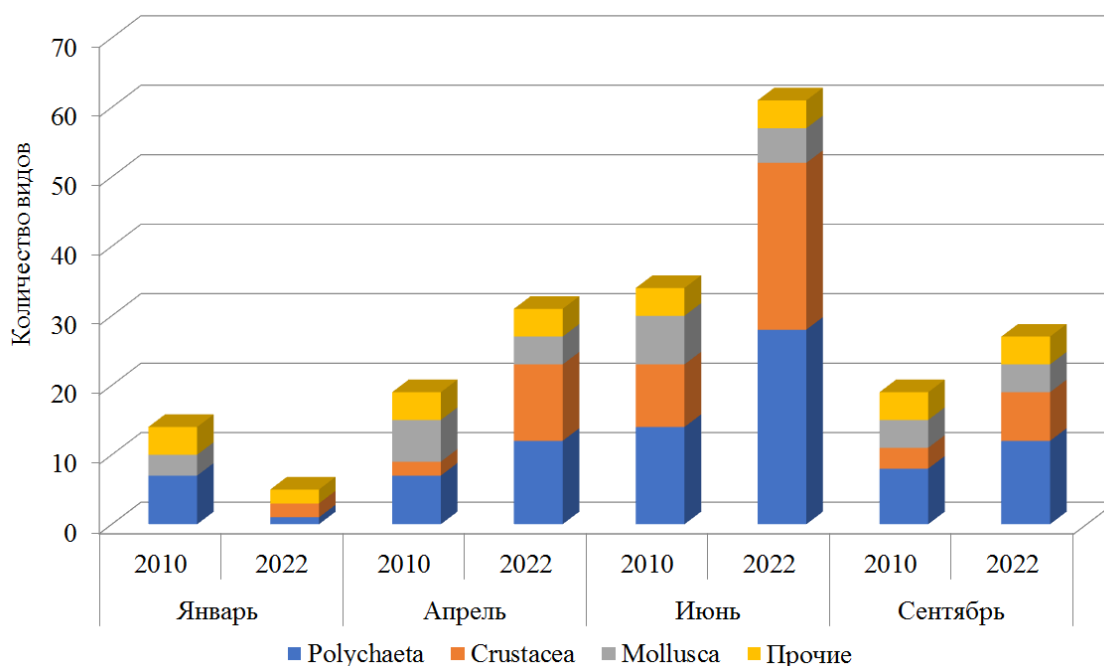


Рис. 4. Видовой состав макрозообентоса в разные временные периоды

Наиболее богатым во все сезоны оказался видовой состав полихет. Показано, что количество их видов изменялось от 1 до 28. Небольшое количество видов в разные сезоны (от 3 до 7) зарегистрировано у моллюсков. Видовой состав раков варьировал от 2 до 24.

Изменились и количественные показатели макрозообентоса. Средние значения численности к 2021–2022 годам выросли в 2 раза, существенный вклад в оба периода внесли полихеты (54 и 65 % общей численности макрозообентоса соответственно). Максимальная плотность поселения макрозообентоса отмечена летом (рис. 5).

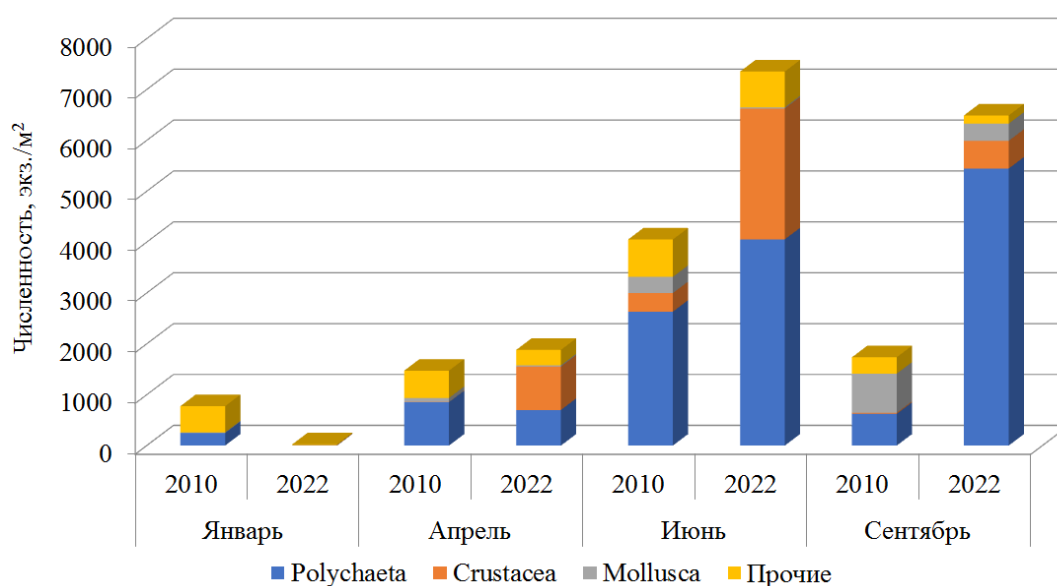


Рис. 5. Численность макрозообентоса в разные временные периоды

Средние значения биомассы макрозообентоса к 2021–2022 годам также увеличились в 2 раза, существенный вклад в оба периода внесли моллюски (по 77 % общей численности макрозообентоса). Максимальная биомасса макрозообентоса в 2007–2010 годах отмечена летом, в 2021–2022 – осенью (рис. 6).

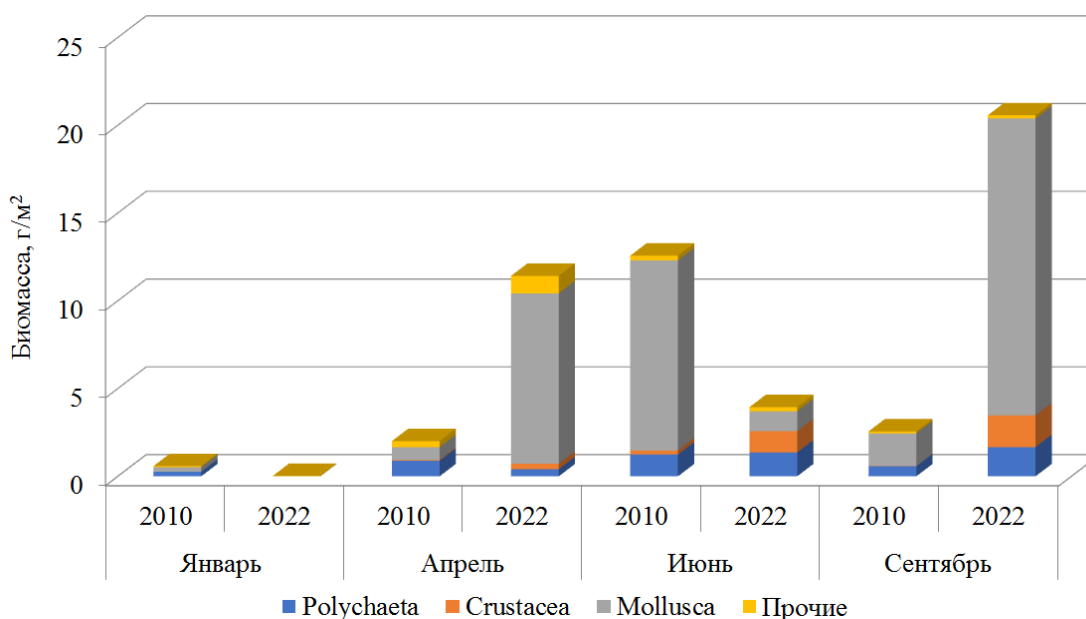


Рис. 6. Биомасса макрозообентоса в разные временные периоды

В оба периода весомый вклад в данный показатель внёс двустворчатый моллюск *S. glaucum*, который обитает на всех типах грунтов, предпочитая плотные (Копий, Бондаренко, 2020). В наших пробах данный вид зарегистрирован только в кутовой части бухты, где преобладают плотные илистые грунты.

Трофическая структура макрозообентоса представлена поли-, детрито-, фитофагами и плотоядными животными (рис. 7).

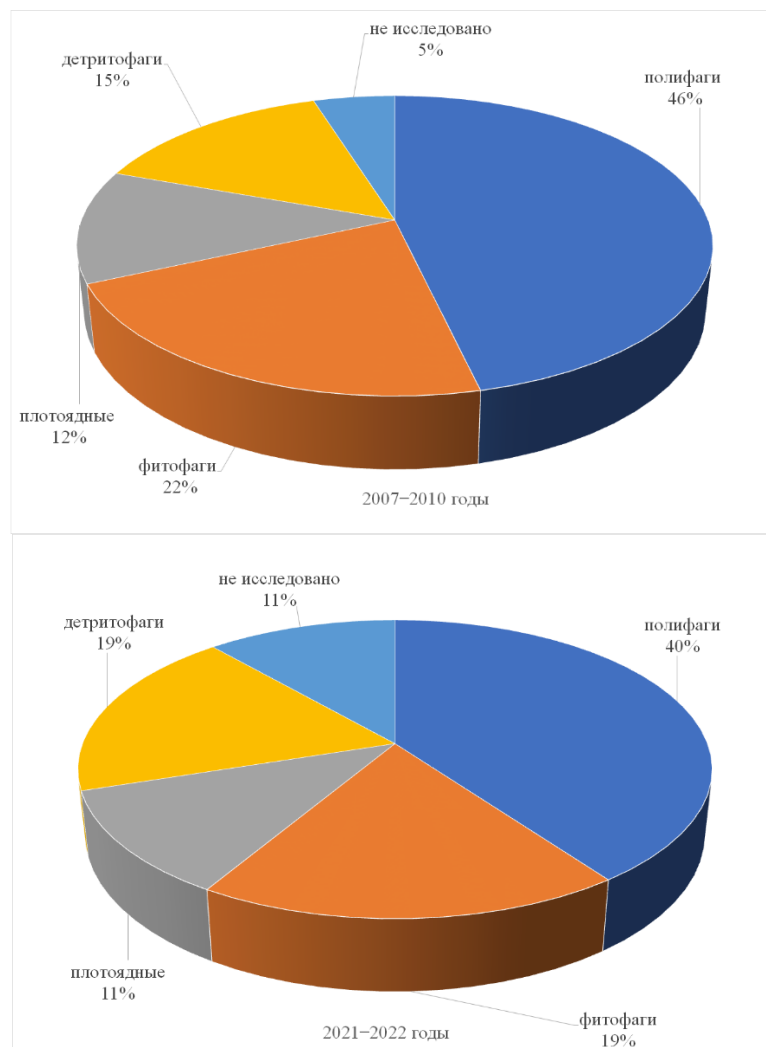


Рис. 7. Трофическая структура макрозообентоса в разные временные периоды

Сравнительный анализ показал, что в исследуемые временные периоды доминировали полифаги. Количество видов представителей всех трофических групп увеличилось за последнее десятилетие на 62–70 %. Коэффициент Чекановского-Сёренсена для фитофагов, плотоядных и полифагов составил 0,45, 0,46 и 0,6 соответственно. Наименьшее сходство видового состава отмечено для детритофагов (0,2).

Увеличение в 2021–2022 годах количества видов детритоядных представителей макрозообентоса, по-видимому, связано с изменением экологической ситуации в бухте. Анализ химического загрязнения и гидробиологического состояния Казачьей бухты в 2011 году указывает на то, что она являлась относительно чистой и менее других бухт Севастополя подвержена антропогенному влиянию. Низкий уровень загрязнения морской воды и донных осадков нефтяными углеводородами, полихлорбифенилами, тяжёлыми металлами связан с отсутствием поблизости существенных источников загрязнения. Отмечен также весьма низкий уровень загрязняющих веществ в тканях различных гидробионтов. Особенности протекающих гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических процессов позволяют акватории поддерживать высокую самоочистительную способность (Беляева,

2018). Альгофлора бухты в 2010 году сохраняла особенности, характерные для чистых акваторий (Евстигнеева и др., 2015).

Однако к 2017 году биомасса фитоценозов морских трав снизилась в 2–3 раза, при этом исчезли фитоценозы *Zostera marina*. Одной из главных причин элиминации данного вида является интенсификация хозяйственной деятельности в прибрежной зоне бухты. Анализ спутниковых снимков, доступных в Google Earth Pro (v. 7.3.0), показал, что с 2010 по 2017 годы на берегах бухты Казачья возведены причалы общей протяжённостью 600 м, в прибрежной зоне построено более 120 коттеджей, гостиниц и многоэтажных домов. Строительство в акватории, дноуглубление, наличие берегового стока с повышенным содержанием соединений азота приводят к снижению прозрачности воды, что оказывает губительное влияние на заросли zostеры (Александров, 2018). Исследователи также отмечают поступление хозяйственно-бытовых стоков в акваторию и возрастание уровня загрязнения донных осадков (Котельянец и др., 2017).

В трофической структуре макрозообентоса изменились и количественные показатели (рис. 8). К 2021–2022 годам численность полифагов возросла в 5 раз в связи с тем, что увеличилась плотность поселения полихеты *C. capitata* в 13,5 раз, двустворчатого моллюска *A. segmentum* в 2,5 раза и обнаруженной только в этот период полихеты *L. flavocapitatus* с численностью от 136 до 1785 экз./м². Плотность поселения детритофагов возросла в 2 раза. Существенный вклад (81 %) в данный показатель внесла амфипода *M. acherusicum*.

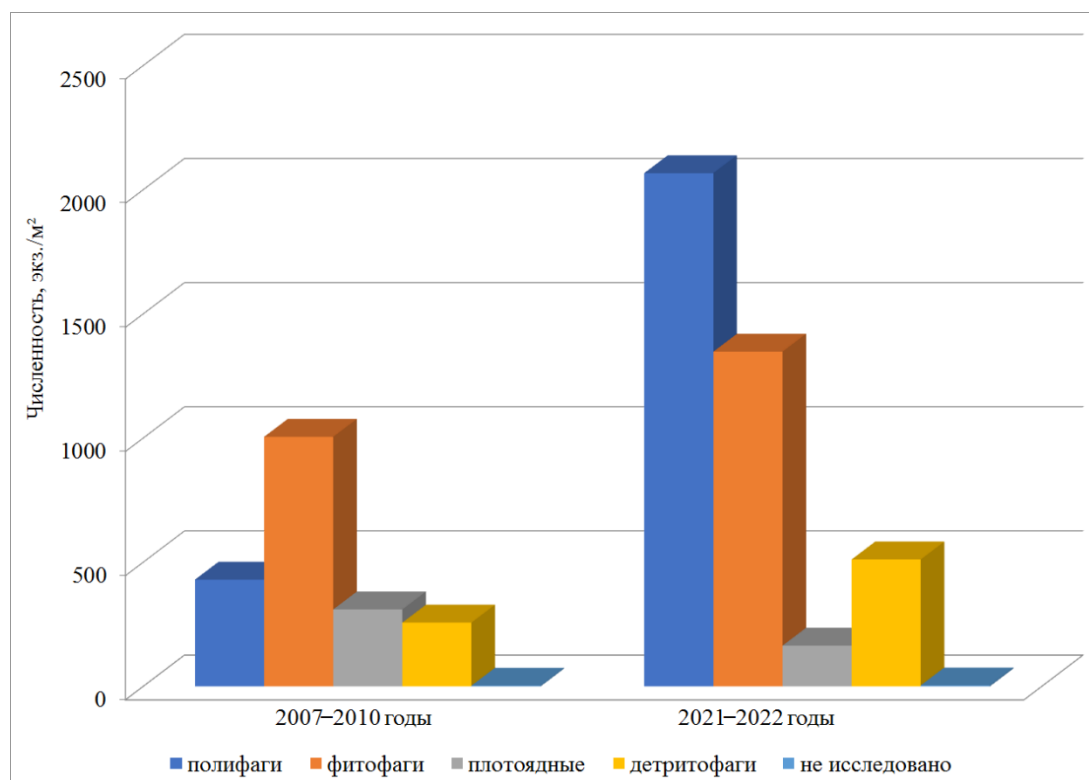


Рис. 8. Численность представителей трофических групп в разные временные периоды

Биомасса полифагов к 2021–2022 годам возросла в 2,3 раза (рис. 9). Существенный вклад в данный показатель внесли двустворчатые моллюски *C. glaucum* (69 %) и *A. segmentum* (22 %).

В 2007–2010 годах зимой в 43 % проб отмечены олигохеты, с апреля по сентябрь массовым видом была *H. acuta*, которая относится к растительным детритофагам (Чухчин, 1984). Тогда как в 2021–2022 годах наибольшее количество массовых видов отмечено в

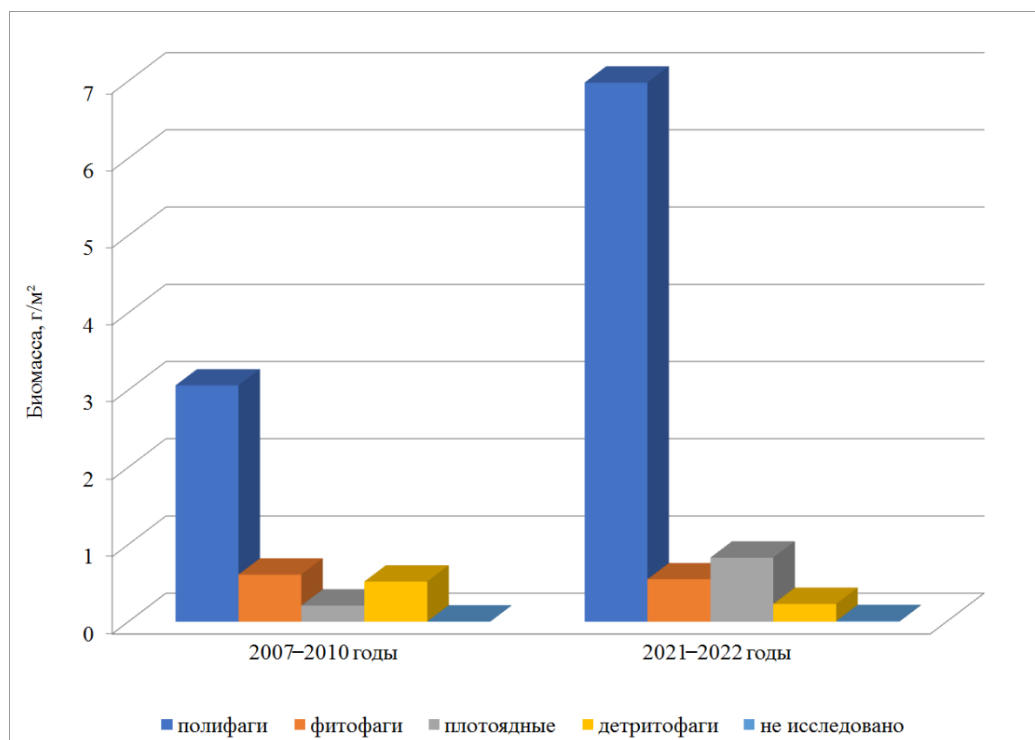


Рис. 9. Биомасса представителей трофических групп в разные временные периоды

осенне-зимний период, среди них доминировал *S. papillocercus*. Весной и летом по встречаемости преобладали полихеты *C. capitata*, *S. clavata*, *M. fragilis* и амфипода *P. foxi*. – представители поли- и фитофагов, что, по-видимому, можно связать с периодом размножения и изменением кормовой базы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За периоды наблюдения 2007–2010 и 2021–2022 годов в зоне псевдолиторали биотопа рыхлых грунтов бухты Казачья обнаружено 86 видов макрозообентоса, относящихся к разным таксономическим категориям: Polychaeta (36 видов), Crustacea (33), Mollusca (13), Platyhelminthes, Oligochaeta, Chironomidae и Nemertea. К 2021–2022 годам их количество увеличилось в 1,6 раза. Дополнительно в список включены 38 видов гидробионтов, 14 видов макрозообентоса найдены только в 2007–2010 годах.

Средние значения численности и биомассы макрозообентоса в 2007–2010 годах варьируют в пределах от 774 ± 176 до 4051 ± 306 экз./м² и от $0,585 \pm 0,216$ до $12,57 \pm 0,033$ г/м² соответственно. В 2021–2022 годах они изменяются соответственно от 24 ± 17 до 7352 ± 3514 экз./м² и от $0,021 \pm 0,016$ до $18,945 \pm 11,557$ г/м².

В 2007–2010 годах зимой в 43 % проб отмечены олигохеты, с апреля по сентябрь массовым видом был моллюск *H. acuta*, который относится к растительным детритофагам. Тогда как в 2021–2022 годах наибольшее количество массовых видов отмечено в осенне-зимний период, среди них преобладал *S. papillocercus*. Весной и летом по встречаемости доминировали полихеты *C. capitata*, *S. clavata*, *M. fragilis* и амфипода *P. foxi*. – представители поли- и фитофагов.

В оба периода наибольшее количество видов и максимальная численность макрозообентоса отмечена летом. Наибольшая биомасса в 2007–2010 годах зарегистрирована в летний период, в 2021–2022 годах – осенью. Изменение количества и таксономического разнообразия массовых видов с различным типом питания в разные сезоны можно связать с периодом размножения гидробионтов и изменением кормовой базы.

Статья подготовлена в рамках Государственного задания ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН» «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана», № 121030100028-0

Список литературы

- Александров В. В. Макрофитобентос бухты Казачья (Чёрное море) в осенний период 2017 г. // Морской биологический журнал. – 2018. – Т. 3, № 4. – С. 3–13.
- Алёмов С. В. Межгодовая и сезонная динамика сообществ макрозообентоса Севастопольской бухты (Чёрное море) в начале XXI века на участках с различным уровнем загрязнения // Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского – природного заповедника РАН. – 2021. – Вып. 1 (17). – С. 3–16.
- Беляева О. И. Физико-географическая характеристика бухты Казачьей и оценка экологического состояния (Чёрное море) // Научные записки природного заповедника «Мыс Мартыан». – 2018. – 9. – С. 47–48.
- Болтачева Н. А., Ревков Н. К., Бондаренко Л. В., Макаров М. В., Надольный А. А. Донная фауна бухты Круглой (Чёрное море, Крым). Сообщение II. Таксономический состав и количественное развитие макрозообентоса рыхлых грунтов. // Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского – природного заповедника РАН. – 2022. – Т. 7, № 2 (22). – С. 3–22.
- Варигин А. Ю., Рыбалко А. А. Межгодовая изменчивость макрозообентоса северной части Сухого лимана // Вісник ОНУ Сер.: Біологія. – 2014. – Т. 19, вип. 2(35). – С. 53–60.
- Воробьев В. П. Бентос Азовского моря // Труды Азово-Черноморского научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии. – 1949. – Вып. 13. – 195 с.
- Грезе И. И. Амфиподы Чёрного моря и их биология. – Киев: Наукова думка, 1977. – 156 с.
- Грезе И. И. Высшие ракообразные. Бокоплавы. Фауна Украины. – Киев: Наукова думка, 1985. – Т. 26, вып. 5. – 163 с.
- Гринцов В. А. Амфиподы Чёрного моря. – Севастополь: ФИЦ ИнБЮМ, 2022. – 475 с.
- Евстигнеева И. К., Гринцов В. А., Лисицкая Е. В., Макаров М. В., Танковская И. Н. Биоразнообразие сообществ макрофитов бухты Казачья (Севастополь, Чёрное море) // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. – 2015. – Т. 120, вып. 6. – С. 51–64.
- Зернов С. А. К вопросу об изучении жизни Чёрного моря // Записки императорской академии наук. Сер. 8. – 1913. – Т. 32, № 1. – 300 с.
- Киселева М. И. Многощетинковые черви (Polychaeta) Чёрного и Азовского морей. – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2004. – 409 с.
- Копий В. Г. Характеристика таксономического состава полихет в акватории бухты Ласпи (Крым, Чёрное море) // Вестник МГТУ. – 2023. – Т. 26, № 1. – С. 69–77.
- Копий В. Г. Сообщества макрозообентоса песчаной псевдолиторали у черноморских берегов Крыма: дис. ... канд. биол. наук: спец. 03.02.10 Гидробиология. – Севастополь, 2014. – 224 с.
- Копий В. Г., Бондаренко Л. В., Аннинская И. Н. Макрозообентос биотопов зоны псевдолиторали бухты Казачья (Чёрное море, Крым) // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отд. биол. – 2017. – Т. 122., вып. 2. – С. 34–41.
- Копий В. Г., Бондаренко Л. В. Атлас обитателей псевдолиторали Азово-Черноморского побережья Крыма. – Севастополь: ФИЦ ИнБЮМ, 2020. – 120 с. DOI: 10.21072/978-5-6044865-1-1
- Копий В. Г., Заика В. Е. Годичная динамика популяции полихеты *Saccocirrus papillocercus* в интерстициали зоны заплеска (Чёрное море, Севастопольская бухта) // Морской экологический журнал. – 2009. – Т. 8, № 2. – С. 49–52.
- Копий В. Г., Лисицкая Е. В. Некоторые особенности биологии и современное состояние популяции *Saccocirrus papillocercus* Bobretzky, 1872 (Polychaeta: Saccocirridae) прибрежной зоны Крыма (Чёрное море) // Морской экологический журнал. – 2012. – Т. XI, № 4. – С. 39–44.
- Котельянец Е. А., Гуров К. И., Тихонова Е. А., Соловьева О. В. Некоторые геохимические показатели донных отложений прибрежной акватории под влиянием антропогенного фактора (на примере бухты Казачья, г. Севастополь) // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о земле. – 2017. – Т. 27, № 1. – С. 5–13.
- Латушкин А. А., Чепыженко А. А., Празукин А. В., Фирсов Ю. К. Распределение полей температуры, солёности, общего взвешенного вещества и растворённого органического вещества в бухте Казачья (г. Севастополь) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2019. – Вып. 1. – С. 54–61.
- Макаров М. В., Бондаренко Л. В., Витер Т. В., Подзорова Д. В. Обрастания твёрдых искусственных субстратов в сезонном аспекте у побережья Севастополя (Юго-западный Крым, Чёрное море) // Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2019. – Том 5 (71), № 2. – С. 116–131.
- Макаров М. В. Таксоцэн *Gastropoda* мелководья на рыхлых грунтах в некоторых районах у побережья Крыма (Чёрное море) // Водные биоресурсы и среда обитания. – 2022. – Т. 5, № 2. – С. 54–67.
- Маккавеева Е. Б. Многолетние изменения эпифитона в Севастопольских бухтах // Многолетние изменения зообентоса Чёрного моря. – Киев: Наукова думка, 1992. – С. 217–226.

- Мионов О. Г., Кирюхина Л. Н., Алёмов С. В. Экологическая характеристика бухты Казачьей (Чёрное море) // Экология моря. – 2002. – 61. – С. 85–89.
- Михайлова Т. В., Беляева О. И. Изучение распределения макрозообентоса в бухте Казачьей (Чёрное море) // Морские биотехнические системы. – 2005. – Вып. 3. – С. 91–96.
- Мокиевский О. Б. Фауна рыхлых грунтов литорали западных берегов Крыма // Труды ИОАН. – 1949. – Т. 4. – С. 124–159.
- Определитель фауны Чёрного и Азовского морей / [Под ред. Ф. Д. Мордухай-Болтовского]. – Киев: Наукова думка, 1972. – Т. 1. – 437 с.; Т. 2. – 536 с.; Т. 3. – 340 с.
- Орехова Н. А. Окислительно-восстановительные условия донных отложений и характеристика макрозообентоса бухт Круглой и Казачьей (г. Севастополь) // Морской биологический журнал. – 2021. – Т. 6, № 4. – С. 68–86.
- Орехова Н. А., Овсянный Е. И., Тихонова Е. А. Органическое вещество и окислительно-восстановительные условия в донных отложениях Балаклавской бухты // Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2019. – Т. 5 (71), № 3. – С. 49–64.
- Особо охраняемые природные территории Севастополя / [Ред. Е. И. Голубева, Е. А. Позаченюк]. – Симферополь: ИТ АРИАЛ, 2020. – 140 с.
- Рябушко Л. И., Бондаренко А. В., Балычева Д. С. Особо охраняемые природные территории черноморского побережья Крыма (очерк) // Заповедные территории. – 2019. – № 2 – С. 117–132. DOI: 10.25808/26186764.2019.49.13.008
- Рябцев Ю. Н. Моделирование переноса нефтяного пятна поверхностными течениями в районе бухт Камышовая и Казачья // Годовой отчет отдела гидрофизики шельфа МГИ НАН Украины. – Севастополь: МГИ НАНУ, 2001. – 287 с.
- Сёмин В. Л. Экология полихет Азовского моря и лиманов российской части его побережья: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Мурманск, 2011. – 25 с.
- Сёмкин Б. И., Горшков М. В. Об оценке сходства и различия в серии флористических и фитоценологических описаний // Комаровские чтения. – 2010. – Вып. 57. – С. 203–220.
- Соловьёва О. В., Тихонова Е. А., Клименко Т. Л., Скрыпник Г. В., Вотнинова Т. В. Органические вещества донных отложений в условиях урбанизации побережья // Океанология. – 2019. – Т. 59, № 2. – С. 234–242.
- Тихонова Е. А., Алёмов С. В. Характеристика донных осадков и макрозообентоса б. Казачья в первой декаде XXI века // Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу. – 2012. – Вип. 26 (1). – С. 88–94.
- Чухчин В. Д. Экология брюхоногих моллюсков Чёрного моря. – Киев: Наук. думка, 1984. – 176 с.
- Bellan-Santini D., Karaman G., Krapp-Schickel G., Ledoyer M., Myers A., Ruffo S., Schiecke U. The Amphipoda of the Mediterranean. Part 1: Gammaridae (Corophiidae) // Memories de l'Institut Oceanographique. – N 13. – 1982. – P. 185–208.
- Çinar M. E., Dagli E., Sahin G. K. Checklist of Annelida from the coasts of Turkey // Turkish Journal of Zoology. – 2014. – Vol. 38. – P. 734–764.
- Grintsov V., Sezgin M. Manual for identification of Amphipoda from the Black Sea. – Sevastopol: Digit print, 2011. – 151 p.
- Orehkova N. A., Konovalov S. K. Oxygen and sulfides in bottom sediments of the coastal Sevastopol region of Crimea. // Oceanology. – 2018. – Vol. 58, N 5. – P. 679–688. <https://doi.org/10.1134/S0001437018050107>
- Tenore K. B., Chesney E. J. The effects of interaction of rate of food supply and population density on the bioenergetics of the opportunistic polychaete, *Capitella capitata* (type 1) // Limnology and Oceanography – 1985. – Vol. 30, iss. 6. – P. 1188–1195.
- Trayanova A. T., Todorova V. R., Konsulova T. H., Shtereva G. P., Hristova O. D., Dzhurova B. S. Ecological State of Varna Bay in Summer 2009 according to Benthic Invertebrate Fauna // Acta zoologica bulgarica – 2011. – 63 (3). – P. 277–288.
- WoRMS Editorial Board (2023): World Register of Marine Species. Available from <https://www.marinespecies.org> at VLIZ. Accessed 2023-06-01.

Kopiy V. G., Bondarenko L. V. Macrozoobenthos in the pseudolittoral zone of Kazachya Bay (Crimea, Black Sea) in different periods of the study // Ekosistemy. 2023. Iss. 36. P. 39–55.

The current state of the macrozoobenthos in the pseudolittoral zone of the Kazachya Bay was studied and a comparative analysis of its qualitative composition and quantitative indicators was carried out in different periods and seasons of the research. In 2007–2010 and 2021–2022, 86 macrozoobenthos species from different taxa: Polychaeta (36 species), Crustacea (33), Mollusca (13), Platyhelminthes, Oligochaeta, Chironomidae and Nemertea were found. By 2022, their number increased by 1.6 times. Moreover, 38 species of hydrobionts were added to the list. Fourteen species of macrozoobenthos were identified only in 2007–2010. Average values of abundance and biomass of macrozoobenthos in 2007–2010 varied from 774 ± 176 to 4051 ± 306 ind./m² and from 0.585 ± 0.216 to 12.57 ± 0.033 g/m², respectively. In 2021–2022, they varied from 24 ± 17 to 7352 ± 3514 individuals/m² and from 0.021 ± 0.016 to 18.945 ± 11.557 g/m², respectively. In both periods, maximum abundance of macrozoobenthos formed by Polychaeta was registered in summer. In 2007–2010, the maximum biomass of macrozoobenthos was registered in summer, and in 2021–2022 it was observed in autumn. Mollusks made a significant contribution to this indicator in both periods. The trophic structure of macrozoobenthos is represented by polyphages, phytophages, detritophages and carnivores. In 2007–2010, oligochaetes were registered in 43 % of the samples in winter; *H. acuta* (Draparnaud, 1805), which belongs to plant detritivores, was the dominant species from April to September. In 2021–2022, the largest number of mass species was registered in the autumn-winter period, and *S. papillocercus* Bobretzky, 1872 dominated there. In spring and summer, polychaetes *Capitella capitata* (Fabricius, 1780), *Salvatoria clavate* (Claparède, 1863), *Microphthalmus fragilis* Bobretzky, 1870 and amphipod *Pectenogammarus foxi* (Schellenberg, 1928) - representatives of polyphagous and phytophagous species - dominated in terms of occurrence. Changes in the number and taxonomic diversity of mass species with different feeding types in different seasons can be associated with the breeding season of hydrobionts and changes in the food supply.

Key words: pseudolittoral, macrozoobenthos, abundance, biomass, Kazachya Bay, Black Sea.

Поступила в редакцию 15.06.23

Принята к печати 26.07.23

Corrections and additions to the list of the megachilid bees (Hymenoptera: Megachilidae) of the Crimean Peninsula

*Fateryga A. V.*¹, *Ivanov S. P.*²

¹ T. I. Vyazemsky Karadag Scientific Station – Nature Reserve of RAS – Branch of A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS

Feodosia, Republic of Crimea, Russia

² Institute of Biochemical Technology, Ecology and Pharmacy of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University

Simferopol, Republic of Crimea, Russia

spi2006@list.ru, fater_84@list.ru

The paper summarizes all updates relevant to the megachilid-bee fauna of the Crimea published after the previous catalogue (Fateryga et al., 2018), as well as reported as original data. *Hoplitis mollis* Tkalcú, 2000, *Osmia cyanoxantha* Pérez, 1879, and *O. hellados* van der Zanden, 1984 are recorded from the Crimea for the first time while *H. turcestanica* (Dalla Torre, 1896), *O. gallarum* Spinola, 1808, and *O. versicolor* Latreille, 1811 are excluded from the Crimean list of species. Other taxonomic changes and clarifications are also reported for some species. A new checklist of the Crimean megachilid bees contains 121 species from 16 genera and five tribes.

Key words: Apiformes, biodiversity, Palaearctic region, regional checklist.

INTRODUCTION

The family Megachilidae is a large group of bees numbering more than 4 000 described species world-wide (Michener, 2007; Ascher, Pickering, 2023). A catalogue of these bees of the Crimea was published five years ago (Fateryga et al., 2018). That paper was based on a large amount of examined specimens (nearly 9 000), collected up to 2016, and an extensive critical review of all relevant literature sources, including little-known ones. As the result, 120 species were reported, for 119 of which the material was examined by the authors while one species, *Hoplitis taurica* (Radoszkowski, 1874), was added due to its description from the Crimea, although its type specimens were not examined. Ten other species, which had been reported earlier but which occurrence in the Crimea was not confirmed by voucher materials, were excluded by Fateryga et al. (2018). For each species, all localities from where it was known in the Crimea were listed in that paper. Unfortunately, a few mistakes were made and further papers, such as Fateryga et al. (2019), corrected some of them. On the other hand, records of new species for the Crimea were made after 2016 (Fateryga, 2017; Ivanov, Fateryga, 2019).

The purpose of the present contribution is to summarize all updates to the Crimean megachilid-bee fauna made after Fateryga et al. (2018), as well as to report some new data correcting the list of these bees known from the peninsula.

MATERIAL AND METHODS

The present contribution was possible by bringing together new literature records and taxonomic updates published after the previous catalogue, as well as re-examination of the material used by Fateryga et al. (2018); newly collected specimens were also studied. Voucher specimens of new records are deposited in the research collection of A. V. Fateryga, Feodosiya, Russia [CAFK] and the collection of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia [CFUS]. The systematics at above-species levels are mainly based on Michener (2007) and Ascher and Pickering (2023).

RESULTS AND DISCUSSION

In comparison with the previously published paper (Fateryga et al., 2018), the identity of four species were re-evaluated, six species were added (including three new records and three species reported after 2016), and five species were excluded from the Crimean checklist (three for the first time and two based on the already published data). A subgeneric placement of six species was changed and the distribution of one species in the Crimea was corrected. As the result, a new updated checklist of the Crimean megachilid bees is presented.

Taxonomic changes and clarifications

Pseudoanthidium (Pseudoanthidium) stigmaticorne (Dours, 1873) (Fig. 1A)

This species was previously reported from the Crimea as *Pseudoanthidium* sp. aff. *nanum* (Mocsáry, 1880) (Fateryga et al., 2018) and not mentioned by Proshchalykin and Fateryga (2017) for Russia due to its incomplete identification. Taxonomic revision of the *P. scapulare* complex (Litman et al., 2021) assigned the Crimean material to *P. stigmaticorne*.

Distribution. Russia (Dagestan, Crimea), Western, Southern, and Eastern Europe, North Africa, Azerbaijan, Turkey, Cyprus, Syria, Jordan, Israel, Iran, and Turkmenistan (Litman et al., 2021).

Trachusa (Paraanthidium) integra (Eversmann, 1852) (Fig. 1B)

Recognised as a valid species, not as a synonym of *Trachusa interrupta* (Fabricius, 1781), according to Kasperek (2020). In the narrow sense, *T. interrupta* is a mainly Mediterranean species distributed from southern Spain and France, southern Switzerland and Austria over the Balkans to Greece and western Turkey; in the south-eastern and Eastern European countries, the distribution extends to Slovakia, Hungary, Romania, and Ukraine (Kasperek, 2020, 2022).

Distribution. Russia (south of European part, North Caucasus, Crimea), France, Albania, North Macedonia, Greece, Bulgaria and Turkey (Kasperek, 2020, 2022).

Subgeneric classification of *Coelioxys* Latreille, 1809

A comprehensive revision of the *Coelioxys* subgenera by da Rocha Filho and Packer (2016) was overlooked by Fateryga et al. (2018). According to this revision, *Coelioxys elongatus* Lepeletier de Saint-Fargeau, 1841, *C. inermis* (Kirby, 1802), and *C. mandibularis* Nylander, 1848 should be placed in the subgenus *Paracoelioxys* Gribodo, 1884, *C. aurolimbatus* Förster, 1853 and *C. rufescens* Lepeletier de Saint-Fargeau & Audinet-Serville, 1825 should be placed in the subgenus *Rozeniana* da Rocha Filho, 2016, and *C. conoideus* (Illiger, 1806) should be placed in the monotypic subgenus *Melissoctonia* da Rocha Filho, 2016.

Megachile (Chalicodoma) albocristata Smith, 1853 (Fig. 1C)

This name replaces the use of *Megachile lefebvrei* (Lepeletier de Saint-Fargeau, 1841) sensu lato (Proshchalykin, Fateryga, 2017 and references therein; Fateryga et al., 2018). In the narrow sense, *M. lefebvrei* is present in northern Africa and on the Iberian Peninsula, and possibly in southern France (Ghisbain et al., 2023). Specimens from Russia were re-identified as *M. albocristata* by Fateryga and Proshchalykin (2020). The taxonomy of this species complex, known as the *M. lefebvrei* group and including *M. lefebvrei*, *M. albocristata*, as well as *M. hungarica* Mocsáry, 1877, *M. lucidifrons* Ferton, 1905, and *M. roeweri* (Alfken, 1927), requires further investigation (Ghisbain et al., 2023).

Distribution. Russia (North Caucasus, Crimea), south-eastern Europe, Georgia, Azerbaijan, Turkey, and Iran (Fateryga, Proshchalykin, 2020; Maharramov et al., 2021; Ghisbain et al., 2023).

Megachile (Eutricharaea) argentata (Fabricius, 1793)

This species was confirmed as a senior synonym of the widespread species *Megachile pilidens* Alfken, 1924 (Praz, Bénon, 2023; Ghisbain et al., 2023).



Fig. 1. Some species of megachilid bees recently reported from the Crimea
 A – male of *Pseudoanthidium stigmaticorne* (Dours, 1873) on inflorescence of *Thymus tauricus* Klokov & Des.-Shost.; B – female of *Trachusa integra* (Eversmann, 1852) on inflorescence of *Lomelosia argentea* (L.) Greuter & Burdet; C – male of *Megachile albocristata* Smith, 1853 on inflorescence of *Centaurea vankovii* Klokov; D – female of *Megachile sculpturalis* Smith, 1853 at flowers of *Styphnolobium japonicum* (L.) Schott. Photographs by A.V. Fateryga (A and C) and S.P. Ivanov (B and D).

Distribution. Russia (European part, Urals, Western Siberia), Western, Southern, and Eastern Europe, North Africa, Georgia, Armenia, Azerbaijan, Turkey, ?Cyprus, Jordan, Israel, Iran, and Kazakhstan (Maharramov et al., 2021; Praz, Bénon, 2023).

***Megachile (Megachile) genalis* Morawitz, 1880**

Re-investigation of the material from the Crimea revealed that most records of this species by Fateryga et al. (2018) were based on a misidentification of another species, *Megachile ligniseca* (Kirby, 1802). Only the female specimen collected from the Opuk Reserve on 18.VIII.2002 undoubtedly belonged to *M. genalis*. Photographs of this specimen kindly provided by M. A. Filatov were re-examined to confirm its identification.

Distribution. Russia (European part, Western Siberia, Far East), Western, Southern, and Eastern Europe, Caucasus, Turkey, Tajikistan, Kyrgyzstan, Kazakhstan, Mongolia, China (Xinjiang), and Japan (Proshchalykin, Fateryga, 2017; Ascher, Pickering, 2023).

Species recorded in the Crimea after 2016

Hoplitis (Alcidamea) fulva (Eversmann, 1852)

First reported from the Crimea by Fateryga (2017). This record was made after the submission of the previously published Crimean catalogue (Fateryga et al., 2018) in 2017 and therefore not included in that paper.

Distribution. Russia (east of European part, Crimea, Urals), Eastern Europe, Armenia, Azerbaijan, Turkey, Syria, Jordan, Kazakhstan, Mongolia, and China (Proshchalykin, Fateryga, 2017; Proshchalykin, Müller, 2019; Müller, 2023).

Hoplitis (Hoplitis) carinata (Stanek, 1969)

First reported from the Crimea by Fateryga et al. (2019). This species was previously misidentified in the Crimean fauna as *Hoplitis ravouxi* (Pérez, 1902) (see below).

Distribution. Russia (Crimea), Greece, Croatia, North Macedonia, Bulgaria, Armenia, Azerbaijan, Turkey, Syria, Jordan, and Iran (Fateryga et al., 2019; Müller, 2023).

Megachile (Callomegachile) sculpturalis Smith, 1853 (Fig. 1D)

First reported from the Crimea by Ivanov and Fateryga (2019) as an invasive species distributed in the peninsula since 2018.

Distribution. China (including Taiwan), Korean Peninsula, and Japan; introduced into USA, Canada, Russia (Crimea), Switzerland, Lichtenstein, Germany, Austria, Spain, France, Italy, Slovenia, Serbia, Croatia, Bosnia and Herzegovina, Hungary, Ukraine, and India (Ivanov, Fateryga, 2019; Sardar et al., 2021; Lanner et al., 2022; Molenko et al., 2022).

New species for the Crimea

Hoplitis (Alcidamea) mollis Tkalčú, 2000

Material examined (new records). CRIMEA: Saki District, Uyutnoye, 31.V.1949, on *Onobrychis* sp., 1 ♀ [CFUS]; vicinity of Feodosiya, Lysya Bay, 4.VI.2008, 1 ♀, leg. S. Ivanov [CAFK]; Tarkhankut Peninsula, Kipchak, 1.VI.2012, 2 ♀, leg. V. Zhidkov [CFUS]; Karadag Reserve, 2013, 1 ♀, leg. M. Filatov [CFUS]. DONETSK PEOPLE'S REPUBLIC: Donetsk Region, from nest, 4.V.2009, 1 ♂, leg. E. Brustilo [CAFK]; *ibid.*, from nest, VI.2009, 1 ♀, leg. E. Brustilo [CFUS]. These specimens were previously misidentified by Fateryga et al. (2018) as *Hoplitis caularis* (Morawitz, 1875), which was considered a senior synonym of *H. turcestanica* (Dalla Torre, 1896) (Ungricht et al., 2008, see also below). Then, *H. turcestanica* was restituted as a valid species by Fateryga and Proshchalykin (2020) but the specimens from the Crimea and Donetsk Region were treated as belonging to this species by a mistake (see below).

Distribution. Russia (Crimea, Donetsk People's Republic), Bulgaria, Azerbaijan, Turkey, Syria, Jordan, Uzbekistan, Kyrgyzstan, and Kazakhstan (Müller, 2023).

Osmia (Pyrosmia) cyanoxantha Pérez, 1879

Material examined (new record). CRIMEA: Sudak, Mt. Taraktash, 22.V.2004, 2 ♂, leg. S. Ivanov [CAFK, CFUS]; vicinity of Feodosiya, Lysya Bay, 15.V.2013, 1 ♂, leg. A. Fateryga [CAFK]. These specimens were previously misidentified by Fateryga et al. (2018) as another species, *Osmia gallarum* Spinola, 1808 (see below).

Distribution. Russia (Dagestan, Crimea), Western, Southern, and Eastern Europe, North Africa, Armenia, Azerbaijan, Turkey, Cyprus, Syria, Jordan, Israel, and Iran (Fateryga, Proshchalykin, 2020; Müller, 2023).

Osmia (Pyrosmia) hellados van der Zanden, 1984

Material examined (new record). CRIMEA: Sevastopol, vicinity of Chernorechye, 8.V.1997, 1 ♂, leg. V. Kholodov [CFUS]; *ibid.*, 13.V.1997, 1 ♂, leg. V. Kholodov [CFUS]; Foros, 1.V.2002, 1 ♂, leg. M. Filatov [CFUS]; vicinity of Feodosiya, Lysya Bay, 17.VI.1995, 1 ♀, leg. S. Ivanov

[CFUS]; *ibid.*, 44°53'54"N, 35°09'28"E, 5.V.2023, 1 ♀, leg. A. Fateryga [CAFK]; Karadag Reserve, 1.VI.2008, 1 ♂, leg. A. Fateryga [CAFK]; Karadag Reserve, Karadag Valley, 30.V.2012, 1 ♀, leg. S. Ivanov [CAFK]. Most female specimens listed above (except one collected in 2023) were previously misidentified by Fateryga et al. (2018) as another species, *Osmia gallarum*, while all male specimens were previously misidentified as *O. versicolor* Latreille, 1811 (see below). Females of *O. hellados* cannot be distinguished from those of *O. gallarum* (A. Müller, personal communication) but they were assigned to this species based on the males of *O. hellados* recorded from the Crimea and the absence of males of *O. gallarum* collected from the peninsula.

Distribution. Russia (Crimea), Southern and Eastern Europe, Georgia, Azerbaijan, Turkey, Cyprus, Jordan, and Israel (Müller, 2023).

Species to be excluded from the Crimean checklist

Hoplitis (Alcidamea) turcestanica (Dalla Torre, 1896)

This species was reported by Fateryga et al. (2018) as *Hoplitis caularis*. Although, *H. turcestanica* and *H. caularis* are indeed two very different species (Fateryga, Proshchalykin, 2020), both are apparently not distributed in Russia. The material from the Crimea and Donetsk People's Republic belong to *H. mollis* (see above), while specimens from the Astrakhan Province mentioned by Fateryga and Proshchalykin (2020) belong to an apparently undescribed species (A. Müller, personal communication). *Hoplitis caularis* is absent from both Russia and Europe (Ghisbain et al., 2023; Müller, 2023) and the same is probably true for *H. turcestanica* as well.

Distribution. *Hoplitis turcestanica* is confirmed to Turkmenistan, Tajikistan, Kyrgyzstan, and Kazakhstan, while *H. caularis* is known from Kazakhstan (Müller, 2023). The records of both species from Turkey, Syria, Uzbekistan, and China require confirmation, as are the records of *H. turcestanica* from the North Caucasus and Urals mentioned by Proshchalykin and Fateryga (2017) and Fateryga and Proshchalykin (2020).

Hoplitis (Anthocopa) taurica (Radoszkowski, 1874)

Pseudosmia taurica Radoszkowski, 1874 is considered to be a nomen dubium by Müller (2023) based on the poor description and the unavailability of the type material.

Hoplitis (Hoplitis) ravouxi (Pérez, 1902)

The report of this species from the Crimea by Fateryga et al. (2018) was based on a misidentification of *Hoplitis carinata* (Fateryga et al., 2019, see also above).

Distribution. *Hoplitis ravouxi* is distributed in Western, Southern, and Eastern Europe (Müller, 2023).

Osmia (Pyrosmia) gallarum Spinola, 1808

The report of this species from the Crimea by Fateryga et al. (2018) was based on misidentifications of females of *Osmia hellados* and males of *O. cyanoxantha* (see above).

Distribution. *Osmia gallarum* is distributed in Western, Southern, and Eastern Europe, North Africa, and Turkey (Müller, 2023).

Osmia (Pyrosmia) versicolor Latreille, 1811

The report of this species from the Crimea by Fateryga et al. (2018) was based on misidentifications: re-examination of the female specimens reported as *Osmia versicolor* revealed that all of them actually belonged to another species, *O. viridana* Morawitz, 1873, while male specimens belonged to *O. hellados* (see above).

Distribution. *Osmia versicolor* is distributed in Russia (Dagestan), Western, Southern, and Eastern Europe, North Africa, Georgia, Azerbaijan, Turkey, Syria, Jordan, Lebanon, and Israel (Fateryga, Proshchalykin, 2020; Müller, 2023).

Updated checklist of the Crimean megachilid bees

Family Megachilidae Latreille, 1802
Subfamily Megachilinae Latreille, 1802
Tribe Lithurgini Newman, 1834

Genus *Lithurgus* Berthold, 1827
Lithurgus chrysurus Fonscolombe, 1834
Lithurgus cornutus (Fabricius, 1787)

Tribe Anthidiini Ashmead, 1899

Genus *Anthidiellum* Cockerell, 1904
Anthidiellum (*Anthidiellum*) *strigatum* (Panzer, 1805)

Genus *Anthidium* Fabricius, 1804
Anthidium (*Anthidium*) *cingulatum* Latreille, 1809
Anthidium (*Anthidium*) *diadema* Latreille, 1809
Anthidium (*Anthidium*) *florentinum* (Fabricius, 1775)
Anthidium (*Anthidium*) *loti* Perris, 1852
Anthidium (*Anthidium*) *manicatum* (Linnaeus, 1758)
Anthidium (*Anthidium*) *montanum* Morawitz, 1865
Anthidium (*Anthidium*) *septemspinatum* Lepeletier de Saint-Fargeau, 1841
Anthidium (*Proanthidium*) *oblongatum* (Illiger, 1806)

Genus *Icteranthidium* Michener, 1948
Icteranthidium grohmanni (Spinola, 1838)
Icteranthidium laterale (Latreille, 1809)

Genus *Pseudoanthidium* Friese, 1898
Pseudoanthidium (*Pseudoanthidium*) *nanum* (Mocsáry, 1880)
Pseudoanthidium (*Pseudoanthidium*) *stigmaticorne* (Dours, 1873)
Pseudoanthidium (*Pseudoanthidium*) *tenellum* (Mocsáry, 1880)
Pseudoanthidium (*Royanthidium*) *reticulatum* (Mocsáry, 1884)

Genus *Stelis* Panzer, 1806
Stelis (*Heterostelis*) *annulata* (Lepeletier de Saint-Fargeau, 1841)
Stelis (*Protostelis*) *signata* (Latreille, 1809)
Stelis (*Stelidomorpha*) *nasuta* (Latreille, 1809)
Stelis (*Stelis*) *aculeata* Morawitz, 1880
Stelis (*Stelis*) *breviuscula* (Nylander, 1848)
Stelis (*Stelis*) *odontopyga* Noskiewicz, 1926
Stelis (*Stelis*) *ornatula* (Klug, 1807)
Stelis (*Stelis*) *phaeoptera* (Kirby, 1802)
Stelis (*Stelis*) *punctulatissima* (Kirby, 1802)
Stelis (*Stelis*) *simillima* Morawitz, 1875

Genus *Trachusa* Panzer, 1804
Trachusa (*Archianthidium*) *pubescens* (Morawitz, 1872)
Trachusa (*Paraanthidium*) *integra* (Eversmann, 1852)

Tribe Dioxyini Cockerell, 1902

Genus *Aglaoapis* Cameron, 1901

Aglaoapis tridentata (Nylander, 1848)

Genus *Dioxys* Lepeletier de Saint-Fargeau & Audinet-Serville, 1825

Dioxys cinctus (Jurine, 1807)

Tribe Osmiini Newman, 1834

Genus *Chelostoma* Latreille, 1809

Chelostoma (Chelostoma) florisomne (Linnaeus, 1758)

Chelostoma (Chelostoma) mocsaryi Schletterer, 1889

Chelostoma (Foveosmia) campanularum (Kirby, 1802)

Chelostoma (Foveosmia) distinctum (Stöckhert, 1929)

Chelostoma (Gyrodromella) rapunculi (Lepeletier de Saint-Fargeau, 1841)

Genus *Heriades* Spinola, 1808

Heriades (Heriades) crenulata Nylander, 1856

Heriades (Heriades) rubicola Pérez, 1890

Heriades (Heriades) truncorum (Linnaeus, 1758)

Genus *Hoplitis* Klug, 1807

Hoplitis (Alcidamea) acuticornis (Dufour & Perris, 1840)

Hoplitis (Alcidamea) claviventris (Thomson, 1872)

Hoplitis (Alcidamea) fulva (Eversmann, 1852)

Hoplitis (Alcidamea) leucomelana (Kirby, 1802)

Hoplitis (Alcidamea) mitis (Nylander, 1852)

Hoplitis (Alcidamea) mollis Tkalců, 2000

Hoplitis (Alcidamea) praestans (Morawitz, 1893)

Hoplitis (Alcidamea) princeps (Morawitz, 1872)

Hoplitis (Alcidamea) tridentata (Dufour & Perris, 1840)

Hoplitis (Anthocopa) jakovlevi (Radoszkowski, 1874)

Hoplitis (Anthocopa) mocsaryi (Friese, 1895)

Hoplitis (Anthocopa) papaveris (Latreille, 1799)

Hoplitis (Hoplitis) anthocopoides (Schenck, 1853)

Hoplitis (Hoplitis) carinata (Stanek, 1969)

Hoplitis (Hoplitis) manicata Morice, 1901

Genus *Osmia* Panzer, 1806

Osmia (Allosmia) rufohirta Latreille, 1811

Osmia (Erythrosmia) andrenoides Spinola, 1808

Osmia (Helicosmia) aurulenta (Panzer, 1799)

Osmia (Helicosmia) caeruleascens (Linnaeus, 1758)

Osmia (Helicosmia) dimidiata Morawitz, 1870

Osmia (Helicosmia) leaiana (Kirby, 1802)

Osmia (Helicosmia) melanogaster Spinola, 1808

Osmia (Helicosmia) niveata (Fabricius, 1804)

Osmia (Helicosmia) signata Erichson, 1835

Osmia (Hoplosmia) bidentata Morawitz, 1875

Osmia (Hoplosmia) scutellaris Morawitz, 1868

Osmia (Hoplosmia) spinulosa (Kirby, 1802)

Osmia (Metallinella) brevicornis (Fabricius, 1798)

Osmia (Osmia) bicornis (Linnaeus, 1758)
Osmia (Osmia) cerinthidis Morawitz, 1876
Osmia (Osmia) cornuta (Latreille, 1805)
Osmia (Osmia) mustelina Gerstäcker, 1869
Osmia (Pyrosmia) cephalotes Morawitz, 1870
Osmia (Pyrosmia) cyanoxantha Pérez, 1879
Osmia (Pyrosmia) hellados van der Zanden, 1984
Osmia (Pyrosmia) submicans Morawitz, 1870
Osmia (Pyrosmia) viridana Morawitz, 1873
Osmia (Tergosmia) tergestensis Ducke, 1897

Genus *Protosmia* Ducke, 1900

Protosmia (Protosmia) tauricola Popov, 1961
Protosmia (Protosmia) tiflensis (Morawitz, 1876)

Tribe Megachilini Latreille, 1802

Genus *Coelioxys* Latreille, 1809

Coelioxys (Allocoelioxys) afer Lepeletier de Saint-Fargeau, 1841
Coelioxys (Allocoelioxys) brevis Eversmann, 1852
Coelioxys (Allocoelioxys) caudatus Spinola, 1838
Coelioxys (Allocoelioxys) echinatus Förster, 1853
Coelioxys (Allocoelioxys) elsei Schwarz, 2001
Coelioxys (Allocoelioxys) emarginatus Förster, 1853
Coelioxys (Allocoelioxys) haemorrhoea Förster, 1853
Coelioxys (Allocoelioxys) obtusus Pérez, 1884
Coelioxys (Allocoelioxys) polycentris Förster, 1853
Coelioxys (Coelioxys) quadridentatus (Linnaeus, 1758)
Coelioxys (Melissoctonia) conoideus (Illiger, 1806)
Coelioxys (Paracoelioxys) elongatus Lepeletier de Saint-Fargeau, 1841
Coelioxys (Paracoelioxys) inermis (Kirby, 1802)
Coelioxys (Paracoelioxys) mandibularis Nylander, 1848
Coelioxys (Rozeniana) aurolimbatus Förster, 1853
Coelioxys (Rozeniana) rufescens Lepeletier de Saint-Fargeau & Audinet-Serville, 1825

Genus *Megachile* Latreille, 1802

Megachile (Callomegachile) sculpturalis Smith, 1853
Megachile (Chalicodoma) albocristata Smith, 1853
Megachile (Chalicodoma) parietina (Geoffroy, 1785)
Megachile (Creightonella) albisecta (Klug, 1817)
Megachile (Eutricharaea) apicalis Spinola, 1808
Megachile (Eutricharaea) argentata (Fabricius, 1793)
Megachile (Eutricharaea) deceptorica Pérez, 1890
Megachile (Eutricharaea) giraudi Gerstäcker, 1869
Megachile (Eutricharaea) leachella Curtis, 1828
Megachile (Eutricharaea) leucomalla Gerstäcker, 1869
Megachile (Eutricharaea) marginata Smith, 1853
Megachile (Eutricharaea) melanogaster Eversmann, 1852
Megachile (Eutricharaea) rotundata (Fabricius, 1787)
Megachile (Eutricharaea) semicircularis auct. nec van der Zanden, 1996
Megachile (Megachile) centuncularis (Linnaeus, 1758)
Megachile (Megachile) genalis Morawitz, 1880
Megachile (Megachile) ligniseca (Kirby, 1802)

Megachile (Megachile) melanopyga Costa, 1863
Megachile (Megachile) octosignata Nylander, 1852
Megachile (Megachile) pilicrus Morawitz, 1877
Megachile (Megachile) versicolor Smith, 1844
Megachile (Pseudomegachile) ericetorum Lepeletier de Saint-Fargeau, 1841
Megachile (Xanthosarus) circumcincta (Kirby, 1802)
Megachile (Xanthosarus) lagopoda (Linnaeus, 1761)
Megachile (Xanthosarus) maritima (Kirby, 1802)
Megachile (Xanthosarus) willughbiella (Kirby, 1802)

CONCLUSION

A total of 121 species of megachilid bees from 16 genera and five tribes are currently known from the Crimea.

Andreas Müller (ETH Zurich, Switzerland) kindly identified some specimens of the osmiine bees used in the present study.

The work of A. V. Fateryga was carried out within the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (No. 121032300023-7).

References

- Ascher J. S., Pickering J. Discover Life bee species guide and world checklist (Hymenoptera: Apoidea: Anthophila). – URL: http://www.discoverlife.org/mp/20q?guide=Apoidea_species (accessed on 25.09.2023).
- da Rocha Filho L. C., Packer L. Phylogeny of the cleptoparasitic Megachilini genera *Coelioxys* and *Radoszkowskiana*, with the description of six new subgenera in *Coelioxys* (Hymenoptera: Megachilidae) // *Zoological Journal of the Linnean Society*. – 2016. – Vol. 180, N 2. – P. 354–413. – <https://doi.org/10.1111/zoj.12484>
- Fateryga A. V. New data on megachilid bees (Hymenoptera: Megachilidae) of the European part of Russia // *Proceedings of the Russian Entomological Society*. – 2017. – Vol. 88, N 2. – P. 86–90. – https://doi.org/10.47640/1605-7678_2017_88_2_86
- Fateryga A. V., Ivanov S. P., Filatov M. A. Megachilid-bees (Hymenoptera: Megachilidae) of the Crimean Peninsula // *Entomofauna*. – 2018. – Bd. 39. – S. 235–283.
- Fateryga A. V., Proshchalykin M. Yu. New records of megachilid bees (Hymenoptera: Megachilidae) from the North Caucasus and the south of European Russia // *Caucasian Entomological Bulletin*. – 2020. – Vol. 16, N 2. – P. 225–231. – <https://doi.org/10.23885/181433262020162-225331>
- Fateryga A. V., Proshchalykin M. Yu., Astafurova Yu. V., Popov I. B. New records of megachilid bees (Hymenoptera, Megachilidae) from the North Caucasus and neighboring regions of Russia // *Entomological Review*. – 2019 (“2018”). – Vol. 98, N 9. – P. 1165–1174. – <https://doi.org/10.1134/S0013873818090026>
- Ghisbain G., Rosa P., Bogusch P., Flaminio S., Le Divelec R., Dorchin A., Kasperek M., Kuhlmann M., Litman J. R., Mignot M., Müller A., Praz C. J., Radchenko V. G., Rasmont P., Risch S., Roberts S. P. M., Smit J., Wood T. J., Michez D., Reverté S. The new annotated checklist of the wild bees of Europe (Hymenoptera: Anthophila) // *Zootaxa*. – 2023. – Vol. 5327, N 1. – P. 1–147. – <https://doi.org/10.11646/zootaxa.5327.1.1>
- Ivanov S. P., Fateryga A. V. First record of the invasive giant resin bee *Megachile (Callomegachile) sculpturalis* Smith, 1853 (Hymenoptera: Megachilidae) in the Crimea // *Far Eastern Entomologist*. – 2019. – N 395. – P. 7–13. – <https://doi.org/10.25221/fee.395.2>
- Kasperek M. Revision of the Palaearctic *Trachusa interrupta* species complex (Apoidea: Anthidiini) with description of four new species // *Zootaxa*. – 2020. – Vol. 4728, N 1. – P. 1–48. – <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4728.1.1>
- Kasperek M. The resin and wool carder bees (Anthidiini) of Europe and Western Turkey. Identification – distribution – biology. – Frankfurt am Main: Chimaira, 2022. – 290 p.
- Lanner J., Dubos N., Geslin B., Leroy B., Hernández-Castellano C., Bila Dubaić J., Bortolotti L., Diaz Calafat J., Četković A., Flaminio S., Le Féon V., Margalef-Marrase J., Orr M., Pachinger B., Ruzzier E., Smagge G., Tuerlings T., Vereecken N., Meimberg H. On the road: anthropogenic factors drive the invasion risk of a wild solitary bee species // *Science of the Total Environment*. – 2022. – Vol. 827. – 154246. – <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154246>
- Litman J. R., Fateryga A. V., Griswold T. L., Aubert M., Proshchalykin M. Yu., Le Divelec R., Burrows S., Praz C. J. Paraphyly and low levels of genetic divergence in morphologically distinct taxa: revision of the *Pseudoanthidium scapulare* (Latreille, 1809) complex of carder bees (Apoidea, Megachilidae, Anthidiini) // *Zoological Journal of the Linnean Society*. – 2021. – Vol. 195, N 4. – P. 1287–1337. – <https://doi.org/10.1093/zoolinlean/zlab062>
- Maharramov M. M., Fateryga A. V., Proshchalykin M. Yu. Megachilid bees (Hymenoptera: Megachilidae) of the Nakhchivan Autonomous Republic of Azerbaijan: tribes Lithurgini, Dioxyini, and Megachilini // *Far Eastern Entomologist*. – 2021. – N 428. – P. 12–24. – <https://doi.org/10.25221/fee.428.3>

Michener C. D. The bees of the world / Second edition. – Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2007. – xvi + 953 p. + 20 pls.

Mulenko M., Gorenkov D., Burkovsky O., Pylypiuk K., Honchar H. New records of the invasive species *Megachile sculpturalis* Smith, 1853 in Ukraine // *Studia Biologica*. – 2022. – Vol. 16, N 3. – P. 61–70. – <https://doi.org/10.30970/sbi.1603.690>

Müller A. Palaeartic Osmiine Bees. ETH Zürich. – URL: <http://blogs.ethz.ch/osmiini> (accessed 25.09.2023).

Praz C. J., Bénon D. Revision of the *leachella* group of *Megachile* subgenus *Eutricharaea* in the Western Palaeartic (Hymenoptera, Apoidea, Megachilidae): a renewed plea for DNA barcoding type material // *Journal of Hymenoptera Research*. – 2023. – Vol. 95. – P. 143–198. – <https://doi.org/10.3897/jhr.95.96796>

Proshchalykin M. Yu., Fateryga A. V. Family Megachilidae / Eds. A. S. Lelej, M. Yu. Proshchalykin, V. M. Loktionov. Annotated catalogue of the Hymenoptera of Russia. Vol. 1. Symphyta and Apocrita: Aculeata // *Proceedings of the Zoological Institute RAS*. – 2017. – Supplement 6. – P. 295–308. – <https://doi.org/10.31610/trudyzin/2017.supl.6.5>

Proshchalykin M. Yu., Müller A. Additional records of osmiine bees (Hymenoptera: Megachilidae: Osmiini) from Siberia // *Zootaxa*. – 2019. – Vol. 4563, N 1. – P. 163–174. – <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4563.1.9>

Sardar S., Rameshkumar A., Kazmi S. I. First report of *Megachile* (*Callomegachile*) *sculpturalis* Smith, 1853 (Apoidea: Megachilidae) from India // *Journal of Insect Biodiversity*. – 2021. – Vol. 23, N 2. – P. 43–49. – <https://doi.org/10.12976/jib/2021.23.2.2>

Ungricht S., Müller A., Dorn S. A taxonomic catalogue of the Palaeartic bees of the tribe Osmiini (Hymenoptera: Apoidea: Megachilidae) // *Zootaxa*. – 2008. – Vol. 1865. – P. 1–253. – <https://doi.org/10.11646/zootaxa.1865.1.1>

Фатерыга А. В., Иванов С. П. Исправления и дополнения к списку пчел-мегахилид (Hymenoptera: Megachilidae) Крымского полуострова // Экосистемы. 2023. Вып. 36. С. 56–65.

В работе обобщены все сведения, касающиеся пчел-мегахилид фауны Крыма, опубликованные после предыдущего каталога (Fateryga et al., 2018), а также представленные в качестве оригинальных материалов. Впервые для Крыма отмечены *Hoplitis mollis* Tkalcù, 2000, *Osmia cyanoxantha* Pérez, 1879 и *O. hellados* van der Zanden, 1984, в то время как *H. turcestanica* (Dalla Torre, 1896), *O. gallarum* Spinola, 1808 и *O. versicolor* Latreille, 1811 исключены из списка крымских видов. Приведены также таксономические изменения и уточнения по некоторым видам. Новый чеклист пчел-мегахилид Крыма насчитывает 121 вид из 16 родов и пяти триб.

Ключевые слова: биоразнообразие, Палеарктика, пчелы, региональный чеклист.

Поступила в редакцию 11.07.23

Принята к печати 25.08.23

Современное состояние популяции дубовой кружевницы *Corythucha arcuata* (Hemiptera: Tingidae) в Карадагском природном заповеднике

Мартынов В. В.¹, Никулина Т. В.¹, Потапенко И. Л.², Летухова В. Ю.²

¹ Донецкий ботанический сад

Донецк, Донецкая Народная Республика, Россия

aphodius65@mail.ru, nikulinatanya@mail.ru

² Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН

Феодосия, Республика Крым, Россия

ira_potapenko@mail.ru, letukhova@gmail.com

Североамериканский клоп дубовая кружевница *Corythucha arcuata* (Say, 1832) на территории Российской Федерации впервые отмечен в 2015 году в Краснодарском крае и к настоящему времени значительно расширил ареал, сформировав очаги массового размножения, превосходящие по площади всех филлофагов дуба. В Крыму вид был зарегистрирован в 2017 году, однако исходя из широты распространения и численности на момент обнаружения, его инвазия, вероятно, произошла в 2015–2016 годах. К настоящему времени вредитель натурализовался и освоил весь потенциальный ареал на полуострове. Особую опасность представляет проникновение *C. arcuata* в уникальные заповедные экосистемы. В Карадагском природном заповеднике вид впервые зарегистрирован в 2020 году по единичным экземплярам. В настоящее время потенциально опасной для дуба численности вредитель достигает уже в ходе развития первой (из потенциально возможных трех) генерации. Учеты яйцекладок (100 листьев с дерева) на 75 модельных деревьях в 15 точках заповедника в июне 2023 года продемонстрировали большую поражаемость дуба скального (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.), экстенсивность которой достигала 38,2 %, интенсивность – 27,1 яйца на лист. При близких значениях максимального количества яиц на лист (*Q. petraea* – 363, *Q. pubescens* Willd. – 315) пораженность дуба пушистого в большинстве точек была ниже, достигая наиболее высоких значений экстенсивности (25,6 %) и интенсивности (14,7 яйца на лист) на участке его совместного произрастания с *Q. petraea*. Меньшая пораженность *Q. pubescens*, вероятно, связана с опушенностью абаксиальной стороны листа, что затрудняет питание личинок первого возраста. Прогноз развития фитосанитарной ситуации в дубовых лесах Карадагского природного заповедника в связи с натурализацией *C. arcuata* остается негативным. Необходима организация мониторинга состояния популяции дубовой кружевницы в заповеднике и его окрестностях, изучение биологии инвайдера и поиск эффективных агентов биоконтроля – паразитов и энтомопатогенов.

Ключевые слова: *Corythucha arcuata*, дубовая кружевница, инвазия, Крымский полуостров, Карадагский природный заповедник.

ВВЕДЕНИЕ

Естественный процесс развития любой экосистемы связан с постоянной ротацией ее видового состава, однако в последние годы в динамике фауны все ярче проявляется влияние чужеродных видов, которые становятся неотъемлемой частью как антропогенно трансформированных, так и природных экосистем. Проблема проникновения организмов за пределы их исторических ареалов имеет исключительно важное природоохранное значение, поскольку инвазии чужеродных видов на особо охраняемые природные территории не только снижают их значение как эталонных экосистем, но и несут прямую угрозу уничтожения. Одним из видов, активно расширяющих ареал в Европе, является дубовая кружевница *Corythucha arcuata* (Say, 1832) – представитель североамериканской фауны клопов-кружевниц (Heteroptera: Tingidae).

На территории Европы *C. arcuata* впервые зарегистрирован в 2000 году в Италии и к настоящему времени проник в 17 стран средней и южной Европы, Турцию и Иран (Musolin et al., 2022). Как опасный фитофаг-вредитель дубовая кружевница включена в тревожный список (Alert List) Европейской и Средиземноморской организации по карантину и защите

растений (ЕРРО), Единый перечень карантинных объектов Евразийского экономического союза, утвержденный решением Совета Евразийской экономической комиссии от 30.11.2016 № 158 и с 01.07.2017 года внесена в перечень карантинных объектов Российской Федерации.

На территории Российской Федерации локальный очаг дубовой кружевницы был впервые зарегистрирован в 2015 году в Краснодаре и к настоящему времени вредитель отмечен в Ростовской области, Донецкой Народной Республике и многих регионах Северного Кавказа (Ставропольский край, Карачаево-Черкесия, Кабардино-Балкария, Северная Осетия, Чечня, Дагестан), Абхазии и Южной Осетии (Щуров и др., 2016а; Мартынов, Никулина, 2022; Кулинич и др., 2023; Musolin et al., 2022). Вероятна дальнейшая экспансия *C. arcuata* за пределы России в естественные леса Средней Азии и страны Кавказа (Musolin et al., 2022). На Северо-Западном Кавказе вид относится к числу наиболее массовых и активно расселяющихся вредителей древесных растений, который по площади очагов массового размножения превзошел всех филофагов дуба (Щуров, Замотайлов, 2021).

В Крыму *C. arcuata* впервые зарегистрирован осенью 2017 года одновременно в Симферопольском, Бахчисарайском, Севастопольском районах и городе Ялта (Стрюкова и др., 2019). Широкое распространение вида в Крыму на момент выявления позволяет предположить более раннее его проникновение на полуостров. Вероятно, инвазия дубовой кружевницы в Крым произошла еще в 2015–2016 годах, то есть практически одновременно с ее появлением на территории Краснодарского края (Мартынов, Никулина, 2019). Дальнейшие обследования, проведенные нами в лесах юго-западной части горного Крыма в 2018–2019 годах, показали, что вторичный ареал дубовой кружевницы охватывает всю зону распространения дуба и носит ярко выраженный очаговый характер (Мартынов, Никулина, 2019). По данным на 2021 год вид зарегистрирован в городах Алушка, Ялта, Алушта, поселках Гурзуф, Партенит, Кореиз, Ливадия, Верхняя Массандра и Мисхор (Трикоз и др., 2021).

На территории Карадагского природного заповедника дубовая кружевница впервые выявлена в августе 2020 года (Голуб и др., 2020). Единичные имаго и отдельные кладки *C. arcuata* были также отмечены нами в конце сентября 2020 года, однако оценка состояния популяции вида и характера его распространения по территории заповедника не проводилась в связи с крайне низкой численностью. Осенью 2022 года на территории заповедника впервые зарегистрированы очаги массового размножения вредителя, численность которого колебалась от 8,2 до 27,5 особей на лист (Шоренко, 2022).

Учитывая тот факт, что леса и редколесья на Карадаге занимают около 60 % его площади, из которых 40 % приходится на формации дуба пушистого и около 5 % – дуба скального (Дидух, Шеляг-Сосонко, 1982), проникновение на территорию заповедника опасного специализированного фитофага дуба создает угрозу уникальным экосистемам и требует организации мониторинга состояния его популяции.

Цель работы – оценить современное состояние популяции клопа дубовой кружевницы на территории Карадагского природного заповедника.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Фенологические наблюдения в очагах массового размножения *C. arcuata* на территории Карадагского природного заповедника проводили с 07.06. по 26.06.2023 года. В первой – второй декадах июня фиксировались многочисленные яйцекладки и хорионы яиц, оставшиеся после выхода личинок. Отсутствие экзубиев личинок V возраста и молодых неокрасившихся имаго свидетельствует о принадлежности развивающихся особей к первой генерации.

Учеты пораженности проводили с 19.06 по 26.06.2023 года в 15 точках заповедника на двух видах дуба – скальном (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) и пушистом (*Q. pubescens* Willd.) (рис. 1, табл. 1). Учеты в данный период отражают репродуктивный потенциал зимовавшего поколения вредителя.

Обследовали все основные растительные формации с участием дуба в высотном диапазоне от 36 до 498 м над уровнем моря (табл. 1, рис. 2). Было обследовано 75 модельных деревьев, из них 65 – *Q. pubescens* и 10 – *Q. petraea*.

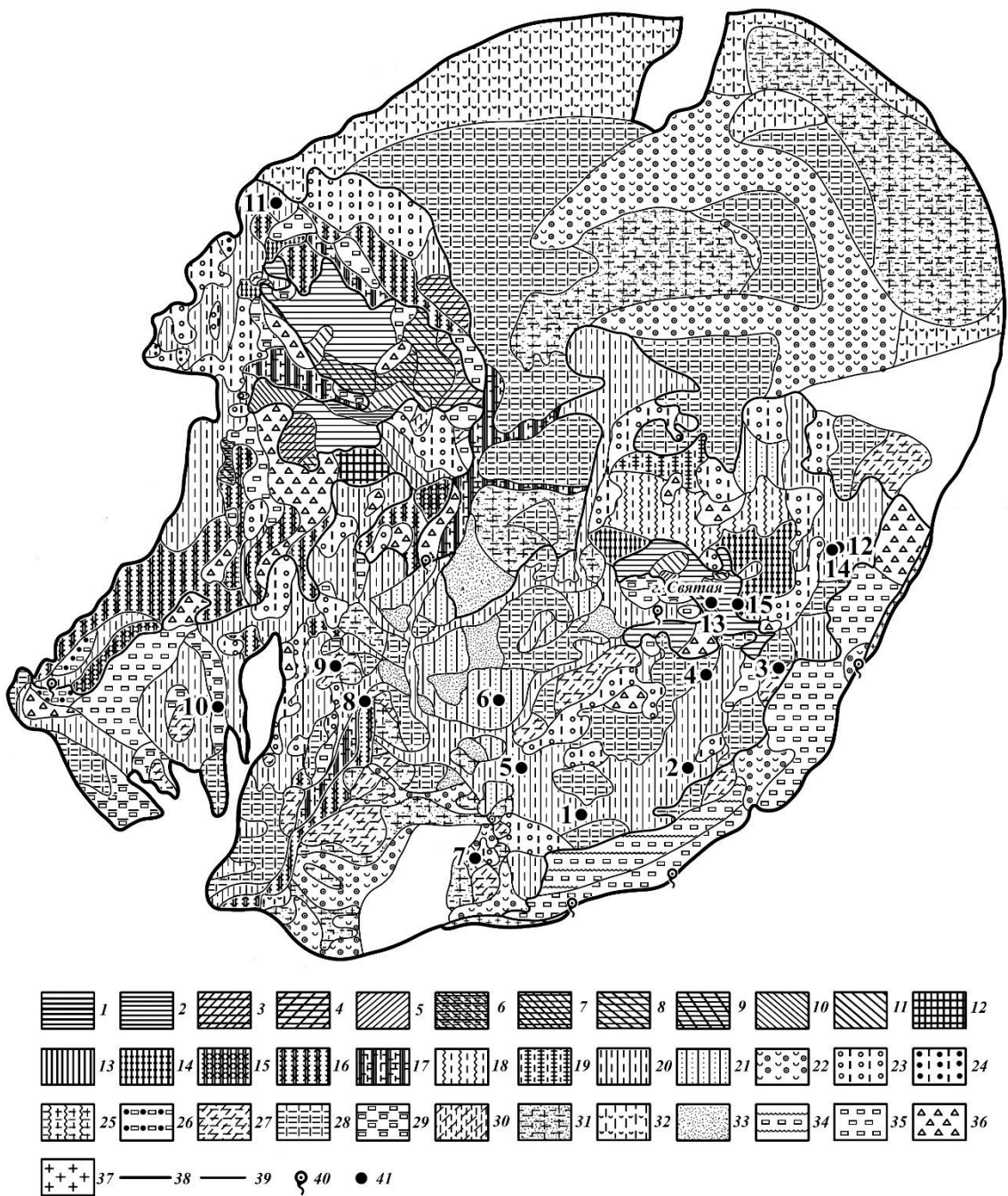


Рис. 1. Карта современной растительности Карадага с обозначением точек сбора материала на территории Карадагского природного заповедника (по Дидух, Шеляг-Сосонко, 1982, с упрощением)

Условные обозначения: 1–12 – леса из *Quercus petraea* и возникшие на их месте сообщества; 13–24 – леса из *Quercus pubescens* и возникшие на их месте сообщества; 25 – леса из *Pistacia mutica*; 26–27 – леса из *Juniperus excelsa* и возникшие на их месте сообщества; 28–34 – степи и возникшие на их месте сообщества; 35 – томиляры; 36 – скалы, каменистые обнажения; 37 – разреженные галофитные группировки; 38 – границы урочищ; 39 – границы выделов; 40 – родники; 41 – точки сбора материала (координаты приведены в табл. 1).

Листья отбирали с нижнего яруса кроны до высоты 2 м. В каждой точке учета выбирали 5 деревьев, с учетного дерева случайным образом отбирали 100 листьев (всего обследовано

7500 листьев). На всех пораженных листьях с помощью оптических приборов подсчитывали количество яиц. Определяли экстенсивность (долю листьев с яйцекладками в выборке) и интенсивность (среднее количество яиц на лист) поражения. Подсчет количества яйцекладок на лист не проводили в связи с обилием одиночно расположенных яиц, а также невозможностью в ряде случаев провести четкие границы между соседними яйцекладками. Для анализа распределения кладок листовую пластинку условно делили на три равные по площади части – верхнюю, среднюю и нижнюю. Часть кладок помещали в сетчатые садки для выведения яйцевых паразитов (Фурсов, 2003).

Таблица 1

Координаты точек сбора материала на территории Карадагского природного заповедника

№	Дата	Кормовая порода	Координаты, высота над уровнем моря
1	19.06.2023	<i>Quercus pubescens</i>	N 44°55'06.6", E 35°12'36.1", 79 м н. у. м.
2	19.06.2023	<i>Quercus pubescens</i>	N 44°55'05.5", E 35°12'44.2", 106 м н. у. м.
3	19.06.2023	<i>Quercus pubescens</i>	N 44°54'59.8", E 35°13'18.5", 200 м н. у. м.
4	19.06.2023	<i>Quercus pubescens</i>	N 44°55'24.7", E 35°13'56.4", 324 м н. у. м.
5	20.06.2023	<i>Quercus pubescens</i>	N 44°55'12.2", E 35°12'21.3", 69 м н. у. м.
6	20.06.2023	<i>Quercus pubescens</i>	N 44°55'51.4", E 35°12'38.4", 136 м н. у. м.
7	20.06.2023	<i>Quercus pubescens</i>	N 44°54'56.2", E 35°12'15.3", 36 м н. у. м.
8	21.06.2023	<i>Quercus pubescens</i>	N 44°55'42.7", E 35°12'29.7", 135 м н. у. м.
9	21.06.2023	<i>Quercus pubescens</i>	N 44°55'54.4", E 35°12'19.1", 217 м н. у. м.
10	21.06.2023	<i>Quercus pubescens</i>	N 44°55'48.2", E 35°11'43.4", 139 м н. у. м.
11	23.06.2023	<i>Quercus pubescens</i>	N 44°57'44.2", E 35°12'13.0", 121 м н. у. м.
12	26.06.2023	<i>Quercus pubescens</i>	N 44°55'52.5", E 35°14'13.6", 342 м н. у. м.
13	26.06.2023	<i>Quercus pubescens</i>	N 44°55'47.5", E 35°13'51.4", 498 м н. у. м.
14	26.06.2023	<i>Quercus petraea</i>	N 44°55'52.5", E 35°14'13.6", 342 м н. у. м.
15	26.06.2023	<i>Quercus petraea</i>	N 44°55'46.7", E 35°13'55.0", 454 м н. у. м.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В пределах естественного ареала *C. arcuata* развивается на листьях различных видов дуба (*Quercus muehlenbergii* Engelm., *Q. alba* L., *Q. macrocarpa* Michx., *Q. prinoides* Willd., *Q. prinus* L. и *Q. rubra* L.), иногда на представителях родов *Castanea* Mill., *Acer* L., *Pyrus* L., *Malus* Mill. и *Rosa* L. В Европе и на Ближнем Востоке дубовая кружевница расширила спектр кормовых пород как за счет европейских видов дуба (*Q. robur* L., *Q. petraea* Matt., *Q. cerris*, *Q. frainetto* Ten., *Q. pubescens* Willd.), так и целого ряда других автохтонных растений. К настоящему времени питание *C. arcuata* зарегистрировано на более чем 30 видах растений, относящихся к 11 ботаническим семействам (Борисов и др., 2018; Мартынов и др., 2020). Однако несмотря на полифагию, дубовая кружевница представляет опасность далеко не для всех растений, зарегистрированных для нее в качестве кормовых. Проведенные на территории Европы исследования показали, что при проникновении в новые регионы клоп неизбежно проявляет себя в качестве вредителя именно дубовых насаждений.

Однозначная оценка степени угрозы *C. arcuata* для различных видов дуба в лесах горного Крыма затруднена. Прежде всего это связано с различной степенью повреждаемости отдельных видов рода *Quercus* L. в разных точках ареала. Например, *Q. pubescens* приведен в качестве основного кормового растения для *C. arcuata* в Италии (Ретийские Альпы) (Dioli et al., 2007), в то же время на территории Краснодарского края *Q. pubescens* относится к числу наименее поражаемых видов (Щуров и др., 2017), в субтропиках Краснодарского края численность клопа на данном виде колебалась от низкой до средней (Борисов и др., 2018). Наши наблюдения, проведенные в 2018–2019 годах в Никитском ботаническом саду,

позволили выявить *C. arcuata* на *Q. pubescens* и *Q. cerris*, в то время как на *Q. petraea* имаго и яйцекладки отсутствовали (Мартынов, Никулина, 2020).

Таким образом, объективная оценка степени повреждаемости кормовых растений в новом регионе невозможна путем экстраполяции данных, полученных в других регионах, и требует проведения целенаправленных исследований.

На территории Карадагского природного заповедника *C. arcuata* был отмечен во всех точках отбора проб (рис. 1). Из 75 обследованных деревьев вид отсутствовал только в 10 выборках, собранных с растений дуба пушистого (*Q. pubescens*). Вместе с тем при целенаправленном поиске вид обнаруживался на всех модельных деревьях. Наименее заселенными оказались отдельно стоящие и некоторые опушечные деревья *Q. pubescens* в точках 1, 3, 4, 9 и 11, экстенсивность поражения которых не превышала 2–3 %, в то время как минимальная экстенсивность поражения *Q. petraea* в группах составила 25 %, максимальная – 49 %.

Учет количества яиц на единицу кормового субстрата является одним из наиболее объективных методов оценки численности локальных популяций и степени предпочтения отдельных кормовых пород. Полученные нами данные однозначно свидетельствуют о большей поражаемости *Q. petraea*, экстенсивность которой достигала 38,2 %, а интенсивность – 27,1 яиц на лист (табл. 2). Меньшая поражаемость листьев дуба пушистого может быть связана с опушением их абаксиальной стороны, что затрудняет питание личинок младших возрастов (Щуров и др., 2016б).

Таблица 2

Показатели пораженности листьев дуба скального и пушистого в Карадагском природном заповеднике в 2023 году

№	Кормовая порода	Экстенсивность поражения, %	Интенсивность поражения, экземпляров на лист	Сумма яиц в выборке
1	<i>Quercus pubescens</i>	1,4	0,7	347
2	<i>Quercus pubescens</i>	9,8	3,4	1712
3	<i>Quercus pubescens</i>	3,4	0,6	303
4	<i>Quercus pubescens</i>	0,8	0,08	42
5	<i>Quercus pubescens</i>	5,0	1,4	704
6	<i>Quercus pubescens</i>	10,0	3,6	1809
7	<i>Quercus pubescens</i>	13,4	4,5	2249
8	<i>Quercus pubescens</i>	7,8	1,9	979
9	<i>Quercus pubescens</i>	0,6	0,1	55
10	<i>Quercus pubescens</i>	4,8	1,1	535
11	<i>Quercus pubescens</i>	1,2	0,3	171
12	<i>Quercus pubescens</i>	25,6	14,7	7350
13	<i>Quercus pubescens</i>	13,4	6,3	3181
14	<i>Quercus petraea</i>	38,2	27,1	13565
15	<i>Quercus petraea</i>	31,2	20,8	10406

Анализ распределения кладок по листовой пластинке показал, что самки при яйцекладке отдают предпочтение центральной части листа. Так, на *Q. pubescens* в средней трети листа было сконцентрировано 69 % кладок, 19 % размещалось в верхней трети листа и 12 % – в нижней. На листьях *Q. petraea* 52 % кладок отмечены в средней трети, 21 % – в верхней и 27 % – в нижней трети.

Корректное сравнение полученных нами данных с данными других исследователей затруднено в связи с применением различных методик учета. Тем не менее показатели

интенсивности заселения первой генерации клопа в 2023 году сопоставимы с данными, полученными в августе – сентябре 2022 года для последней генерации (от 8,2 до 27,5 экземпляров на лист) (Шоренко, 2022). Это свидетельствует о высоком репродуктивном потенциале перезимовавшей генерации, а также, с учетом развития трех генераций, о значительном потенциальном росте численности популяции вредителя в заповеднике в текущем году.



Рис. 2. Леса с участием дуба пушистого и дуба скального на территории Карадагского природного заповедника

a – формации дуба пушистого на террасе левого склона балки Карадагской; *b* – формации дуба пушистого на вершине хребта Беш-Таш; *c* – формации дуба пушистого и скального на восточном склоне горы Святая; *d* – формации дуба скального под вершиной горы Святая (фото Т. В. Никулиной и В. В. Мартынова).

При близких значениях максимального количества яиц на лист (*Q. petraea* – 363, *Q. pubescens* – 315) пораженность дуба пушистого в большинстве точек была ниже, достигая наиболее высоких значений экстенсивности (25,6 %) и интенсивности (14,7 яиц на лист) на участке его совместного произрастания с дубом скальным (точка 12) (табл. 1).

Дубовая кружевница способна не только сильно ослаблять заселенные деревья, но и вызывать их гибель. В случае высокой численности (более 10 взрослых особей и личинок на один лист) уже в начале лета могут появиться первые признаки хлороза (пожелтения) листьев (Абасов, Блюммер, 2012). Хлороз листьев дуба скального и пушистого отмечен нами на территории заповедника уже в результате развития первой (наименее многочисленной) генерации клопа (рис. 3).



Рис. 3. Хлороз на листьях дуба пушистого (a) и дуба скального (b) вследствие питания имаго и личинок дубовой кружевницы (фото Т. В. Никулиной)

Прогноз дальнейшего развития ситуации выглядит негативно в первую очередь для дуба скального. Даже с учетом гибели части яиц и личинок первого возраста, уже первая генерация клопа достигает численности, оказывающей негативное влияние на растения. Во всех выборках листьев, взятых с *Q. petraea*, численность вида превышала пороговое значение (более 10 личинок и имаго на лист) в 3,9–10,3 раза.

Количество генераций, способных развиваться на территории заповедника в течение года, не установлено, однако опираясь на данные, полученные в Краснодарском крае (Щуров и др., 2019; Щуров, Замотайлов, 2021), можно предположить развитие не менее трех полных генераций. Таким образом, уже к концу сезона вид сможет оказывать существенное влияние на физиологическое состояние дуба скального, что осложнит подготовку растений к зимнему периоду. Помимо прямого вреда, наносимого *S. arcuata*, в результате физиологического ослабления растений создаются благоприятные условия для развития вредителей и патогенов, способных вызвать их гибель. Немаловажным следствием угнетения растений является и снижение семенной продуктивности, что особенно опасно для животных, основной кормовой базой которых являются желуди.

На сегодняшний день в литературе имеются данные об испытании целого ряда методов контроля численности популяций *S. arcuata*, из которых, по мнению специалистов, наиболее перспективным остается классический биологический метод. Сравнительно недавно в естественном ареале дубовой кружевницы был выявлен паразитический яйцеед *Erythmelus klopomor* Triapitsyn, 2014 (Hymenoptera, Mymaridae), которого рассматривают как перспективного агента биологической борьбы. В России, как и в других европейских странах, этот энтомофаг не выявлен (Гниненко и др., 2019; Кулинич и др., 2023). Нами в ходе наблюдений за кладками, собранными на территории заповедника, яйцевые паразиты не обнаружены.

В связи со стремительным расширением ареала *S. arcuata* в России, экономические и экологические последствия его инвазии требуют объективной оценки. Актуальность проблемы в дальнейшем будет только возрастать, поскольку лимитирующие климатические факторы, которые бы сдерживали размножение вредителя, практически отсутствуют, а

местные энтомофаги и патогенные микроорганизмы на настоящем этапе инвазии не оказывают существенного влияния на численность его популяций (Гниненко и др., 2019).

Прогноз развития фитосанитарной ситуации в дубовых лесах Карадагского заповедника в связи с натурализацией *C. arcuata* остается негативным. На настоящем этапе необходимо активизировать научные изыскания, направленные на изучение биологии инвайдера и поиск эффективных агентов биоконтроля (паразитов и энтомопатогенов).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современное состояние популяции дубовой кружевницей на территории Карадагского природного заповедника позволяет сделать вывод о завершении процесса натурализации вида в Крыму. Показатели пораженности дубов свидетельствуют о высокой численности и негативном влиянии вредителя на физиологическое состояние растений. Необходимы организация мониторинга состояния популяции дубовой кружевницы в заповеднике и его окрестностях, изучение биологии инвайдера и поиск эффективных агентов биоконтроля – паразитов и энтомопатогенов.

Благодарности. Авторы выражают признательность директору Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского – природного заповедника РАН В. А. Литвину за помощь в организации обследований.

Работа выполнена в рамках госзадания ФГБНУ «Донецкий ботанический сад» по теме FREG-2023-0001 «Инвазии чужеродных организмов в антропогенные и природные экосистемы Донбасса: тенденции развития, экологические последствия, прогноз», № 1023020800024-8-1.6.19;1.6.20;1.6.12;1.6.11 и в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме № 121032300023-7.

Список литературы

- Абасов М. М., Блюммер А. Г. Клоп дубовая кружевница *Corythucha arcuata* (Say, 1832) // Карантин растений. Наука и практика. – 2012. – № 2. – С. 41–43.
- Борисов Б. А., Карпун Н. Н., Бибин А. Р., Грабенко Е. А., Ширяева Н. В., Лянгузов Н. Е. Новые данные о трофических связях инвазионного клопа дубовой кружевницы *Corythucha arcuata* (Heteroptera: Tingidae) в Краснодарском крае и Республике Адыгея по результатам исследований в 2018 году // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2018. – Вып. 67. – С. 188–203.
- Гниненко Ю. И., Чернова У. А., Раков А. Г., Гимранов Р. И., Хегай И. В. Методические рекомендации по защите от дубового клопа-кружевницы (для производственной проверки). – Пушкино: ВНИИЛМ, 2019. – 28 с.
- Голуб В. Б., Голуб Н. В., Соболева В. А. Распространение и трофические связи дубовой кружевницы *Corythucha arcuata* (Say) (Heteroptera: Tingidae) в Крыму // Полевой журнал биолога. – 2020. – Том 2, № 3. – С. 179–184.
- Дидух Я. П., Шеляг-Сососнко Ю. Р. Карадагский государственный заповедник. Растительный мир. – Киев: Наук. думка, 1982. – 152 с.
- Единый перечень карантинных объектов Евразийского экономического союза. Решение Совета ЕАЭС № 158 от 30 ноября 2016 г., с изменениями от 25 января 2023 г. [Электронный ресурс]. – Россельхознадзор. ФГБУ «ВНИИКР». – 2023. – Режим доступа: <https://www.alt.ru/tamdoc/16sr0158/> (просмотрено 03.08.2023).
- Кулинич О. А., Ряскин Д. И., Гниненко Ю. И., Акопьянц А. А., Арбузова Е. Н., Чернова У. А., Налепин В. П. Клоп дубовая кружевница *Corythucha arcuata* (Say) (Hemiptera: Tingidae): распространение на территории России и возможные меры контроля // Фитосанитария. Карантин растений. – 2023. – № 2 (14). – С. 18–33.
- Мартынов В. В., Никулина Т. В. Дубовая кружевница *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Hemiptera: Tingidae) – новый инвазивный вредитель в лесах юго-западной части горного Крыма // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2020. – Вып. 72. – С. 124–138.
- Мартынов В. В., Никулина Т. В. Дубовая кружевница *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Hemiptera: Tingidae) – новый опасный вредитель дуба в Донбассе // Промышленная ботаника. – 2022. – Вып. 22, № 3–4. – С. 68–76.
- Мартынов В. В., Шебалков А. В., Никулина Т. В., Губин А. И., Левченко И. С. Методические рекомендации по выявлению и идентификации дубовой кружевницы *Corythucha arcuata* (Say, 1832). – Донецк, 2020. – 43 с.
- Стрюкова Н. М., Емельяненко Т. З., Голуб В. Б. Дубовая кружевница в Республике Крым // Защита и карантин растений. – 2019. – № 9. – С. 43–44.

Трикоз Н. Н., Андреев Р. О., Шевцов С. И. Сосущие виды вредителей декоративных культур в условиях Южного берега Крыма // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2021. – Вып. 139. – С. 135–142.

Фурсов В. Н. Как собирать насекомых-энтомофагов (Сбор, содержание и выведение паразитических перепончатокрылых насекомых). – Киев: Логос, 2003. – 66 с.

Шоренко К. И. Новые очаги массового размножения дубовой кружевницы *Corythucha arcuata* (Say, 1832) в Республике Крым // Полевой журнал биолога. – 2022. – Т. 4, № 4. – С. 357–362.

Щуров В. И., Бондаренко А. С., Охрименко Н. В., Вибе Е. Н., Николаенко К. С., Щурова А. В., Семенов А. В., Скворцов М. М. Новые и малоизвестные насекомые-вредители в древесно-кустарниковых экосистемах Северо-Западного Кавказа (Orthoptera, Hemiptera, Coleoptera, Hymenoptera, Lepidoptera) // Природный парк «Большой Тхач»: проблемы изучения и сохранения биоразнообразия. Роль особо охраняемых природных территорий в развитии Адыгеи: Матер. круглого стола (Майкоп, 30 сентября 2016 г.). – Майкоп: Изд-во АГУ, 2016а. – С. 16–45.

Щуров В. И., Бондаренко А. С., Скворцов М. М., Щурова А. В. Чужеродные виды насекомых-фитофагов, впервые выявленные в древесно-кустарниковых сообществах Северо-Западного Кавказа в 2014–2016 годах // IX Чтения памяти О. А. Катаева. Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах: Матер. междунар. конф. (Санкт-Петербург, 23–25 ноября 2016 г.). – СПб: СПбГЛТУ, 2016б. – С. 134–135.

Щуров В. И., Бондаренко А. С., Скворцов М. М., Щурова А. В. Чужеродные насекомые – вредители леса, выявленные на Северо-Западном Кавказе в 2010–2016 гг., и последствия их неконтролируемого расселения // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2017. – Вып. 220. – С. 212–228.

Щуров В. И., Замотайлов А. С., Бондаренко А. С., Щурова А. В., Скворцов М. М., Глушенко Л. С. Кружевница дубовая *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae) на Северо-Западном Кавказе: фенология, биология, мониторинг территориальной экспансии и вредоносности // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2019. – Вып. 228. – С. 58–87.

Щуров В. И., Замотайлов А. С. Параметры сезонного цикла *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae) на равнинах и в предгорьях Северо-Западного Кавказа // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2021. – Вып. 236. – С. 101–128.

Dioli P., Forini I. G., Moretti M., Salvetti M. Note sulla distribuzione di *Corythucha arcuata* (Insecta, Heteroptera, Tingidae) in Cantone Ticino (Svizzera), Valtellina e alto Lario (Lombardia, Italia) // Il Naturalista Valtellinese. – 2007. – Vol. 18. – P. 59–68.

Musolin D. L., Kirichenko N. I., Karpun N. N., Aksenenko E. V., Golub V. B., Kerchev I. A., Mandelshtam M. Y., Vasaitis R., Volkovitch M. G., Zhuravleva E. N., Selikhovkin A. V. Invasive Insect Pests of Forests and Urban Trees in Russia: Origin, Pathways, Damage, and Management // Forests. – 2022. – Vol. 13, N 4. – P. 1–60.

Martynov V. V., Nikulina T. V., Potapenko I. L., Letukhova V. Yu. The current status of the oak lace bug *Corythucha arcuata* (Hemiptera: Tingidae) population in the Karadag Nature Reserve // Ekosistemy. 2023. Iss. 36. P. 66–74.

The North American oak lace bug *Corythucha arcuata* (Say, 1832) was first recorded in the Russian Federation in 2015 in the Krasnodar region and has significantly expanded its range by now, forming focal areas of mass reproduction that surpass all oak tree phyllophagous insects in the area. In Crimea, the species was registered in 2017, however, based on the wide distribution and abundance at the time of the first record, its invasion might have occurred in 2015–2016. Up to date, the pest has naturalized and colonized the entire potential range on the peninsula. Invasion of *C. arcuata* into the unique protected ecosystems is especially dangerous. In Karadag Nature Reserve, the species was first recorded in 2020 as single specimens. At present, the pest population reaches a potentially damaging oaks level during the development of the first (out of potential three) generation. Egg-laying counts (100 leaves per tree) on 75 model trees at 15 sites within the reserve in June 2023 demonstrated a high infestation rate of sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.), reaching the extensiveness of 38.2 % and the intensity of 27.1 eggs per leaf. Despite the similar maximum egg quantity per leaf (*Q. petraea* – 363, *Q. pubescens* Willd. – 315), the infestation of downy oak in most sites was lower, reaching the highest values of extensiveness (25.6 %) and intensity (14.7 eggs per leaf) in common habitats with *Q. petraea*. The lower infestation rate of *Q. pubescens* is probably due to the pubescence of the abaxial side of the leaves, which makes it difficult for the first age larvae to feed. The forecast for the development of the phytosanitary situation in the oak forests of the Karadag Nature Reserve related to the naturalization of *C. arcuata* remains negative. It is necessary to plan monitoring of the population status of the oak lace bug in the reserve and its surroundings, study the invader biology and search for effective biocontrol agents, namely parasites and entomopathogens.

Key words: *Corythucha arcuata*, oak lace bug, invasion, Crimean Peninsula, Karadag Nature Reserve.

Поступила в редакцию 14.08.23

Принята к печати 14.09.23

Состав и биомасса макрофитобентоса памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Фиолент» (Черное море)

Евстигнеева И. К., Танковская И. Н.

*Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН
Севастополь, Россия*

ikevstigneeva@gmail.com, itankovskay@gmail.com

Проведена оценка продукционного потенциала бентосных фитоценозов памятника природы в акватории мыса Фиолент и выявлены особенности распределения видов в группах сапробности, галобности, по степени встречаемости в Черном море и в зависимости от сроков вегетации макроводорослей. Материалом для исследования послужили пробы фитобентоса, собранные в июле 2021 года на восточном и западном участках охраняемой территории с глубин от 0,5 до 15 м. Всего собрано 44 количественные пробы. Показано, что в фитоценозе памятника природы ключевым продуцентом среди отделов является Ochrophyta, вторую и третью позицию занимают Rhodophyta и Chlorophyta. К видам высоких категорий доминирования относятся *Vertebrata subulifera*, *Ericaria crinita*, *Gongolaria barbata* и *Phyllophora crispa*. Высоким разнообразием отличаются малозначимые виды, относительная фитомасса которых менее 1 %. Установлено, что минимум и максимум средней фитомассы отделов не совпадают в пространстве. Общей особенностью фитоценоза на двух участках охраняемой акватории является один и тот же тип пространственной вариабельности абсолютной фитомассы отделов и одинаковая тенденция ее батиметрических изменений у Ochrophyta и макрофитобентоса. Величина индекса Пиелу (0,72) близка к 1, что указывает на равномерное сложение ценоза по фитомассе. С учетом отношения к факторам солёности и сапробности среды, в зависимости от степени встречаемости в Черном море и продолжительности вегетации водоросли, обитающие в акватории памятника природы, распределяются между 12 группами. Среди них наибольшим числом видов представлены морская, ведущая, однолетняя и олигосапробная группы. Спектры групп в отделах и степень видового разнообразия каждой из них на обследованных участках памятника природы отличаются незначительно. На примере групп – индикаторов режима галобности и сапробности морской среды показано наличие связи между глубиной обитания и числом видов в группах. Данные о вкладе полисапробионтов и групп-индикаторов распреснения морской воды указывают на ухудшение экологической ситуации в акватории пляжа «Царский».

Ключевые слова: макрофитобентос, фитомасса, фитогалобный и фитосапробный состав, встречаемость, сроки вегетации, изменчивость, Крым, Черное море.

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение антропогенного пресса на прибрежную зону Черного моря приводит к необходимости составления прогнозов возможных последствий ее активного освоения (Горячкин, 2015). Эти прогнозы должны базироваться на результатах регулярных и масштабных наблюдений за состоянием вовлеченных в хозяйственную деятельность прибрежных участков Черного моря. К сожалению, не все участки охвачены такими исследованиями, а имеющиеся немногочисленные данные по отдельным регионам нуждаются в актуализации. Безусловно, преодоление таких препятствий позволило бы сформировать объективное представление о современном состоянии бентосной флоры у Крымского полуострова, что, в свою очередь повысило бы прикладную значимость составляемых прогнозов, как для всей его прибрежной зоны, так и для особо охраняемых природных территорий. Охраняемые территории, помимо прямого назначения, являются полигонами для мониторинга состояния локального биоразнообразия, результаты которого и должны стать базой для усовершенствования природоохранных мероприятий (Fernández et al., 2016; Coad et al., 2019). В прибрежной зоне Крыма расположены шесть особо охраняемых природных территорий, включающих морские акватории (Позаченюк, 2020). К ним относится

памятник природы гидрологического профиля «Прибрежный аквальный комплекс (ПАК) у мыса Фиолент». Помимо знаний флористического состава и таксономической структуры макрофитобентоса (МФБ) охраняемого объекта большое значение имеют сведения о биомассе, формируемой растениями и о дифференциации видов по участию в продукционном процессе. Результаты исследования видового разнообразия макроводорослей данного района авторами опубликованы ранее (Евстигнеева, Такновская, 2023). Важно также учитывать, что фитоценозы представляют собой системы экологически и биологически различных видов растений. Среди подходов к классификации черноморских макроводорослей есть тот, который базируется на учете их отношения к факторам солености и сапробности среды, степени встречаемости в Черном море и генетически закрепленной продолжительности вегетационного периода (Калугина-Гутник, 1975). Данные о флористическом составе фитосапробных и фитогалобных групп, а также групп, выделенных по срокам вегетации и встречаемости в море, позволяют не только оценить один из аспектов биоразнообразия морских экосистем, но и расширить возможности фитоиндикации среды.

Цель работы – оценить продукционный потенциал макрофитобентоса и выявить особенности распределения видов по группам в зависимости от их отношения к солености и сапробности среды обитания, а также по срокам вегетации и степени встречаемости на разных участках «Прибрежного аквального комплекса у мыса Фиолент» по глубинам.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Памятник природы «ПАК у мыса Фиолент» находится на юго-западе Крыма (Севастопольский регион) и представляет собой единую бенчево-клифовую зону, выработанную в отложениях структурных денудационно-останцовых равнин Гераклеийского полуострова и в магматических породах (Игнатов и др., 2016). Его береговая зона отличается особым геолого-геоморфологическим строением и активными динамическими процессами. Клиф у мыса Фиолент представлен крутыми склонами, для него характерна система микроамфитеатральных структур, формирование которых связано с выходами водных источников (Панкеева, 2022). Акватория считается относительно чистой, что обеспечивается сезонными и суточными перемещениями водных масс и сгонно-нагонными явлениями. К факторам, обеспечивающим особенности циркуляции и динамики вод в районе от мыса Херсонес до мыса Фиолент, относятся интенсивный поток Основного Черноморского течения, направленный на запад и северо-запад вдоль южного побережья Крыма, севастопольский антициклон, северная периферия которого нередко является вдольбереговым потоком, направленным на юго-восток (Дьяков и др., 2020; Маньковский, Маньковская, 2019). Западнее ПАК располагаются КОС (канализационные очистные сооружения) «Южные», восточнее – КОС «Балаклавские». В неблагоприятных условиях (слабые течения и отсутствие стратификации) плюм сточных вод может быть большим (до 2,0–3,5 км²) и способным к поднятию на поверхность. Периодически у мыса Фиолент значения БПК₅ превышают ПДК (Грузинов и др., 2019). В 2021 году такое явление было зафиксировано у выпуска КОС «Балаклавские». Максимальная концентрация нитратного азота в районе этого выпуска достигала 340 мкг/л. Плюм сточных вод сопровождался выносом на поверхность плавающих предметов и прослеживался до мыса Херсонес. Отдельные случаи увеличения концентраций форм азота наблюдались в Голубой бухте, в районе сброса сточных вод, прошедших только механическую очистку КОС «Южные» (Дьяков и др., 2020).

Альгологические работы проводили в июле 2021 года методом вертикальных гидробиотанических разрезов. Один из разрезов был выполнен на восточном участке памятника (акватория пляжа «Яшмовый»), второй – на западном (пляж «Царский») (рис. 1).

Отбор проб производили с помощью водолаза на глубинах 0,5; 1; 3; 5; 10 и 15 метров до границы распространения водорослей, в четырехкратной повторности с применением учетных площадок размером 25×25 см (Калугина, 1969). Всего было собрано 44 количественные пробы. Их первичная обработка проходила в лаборатории, где определяли

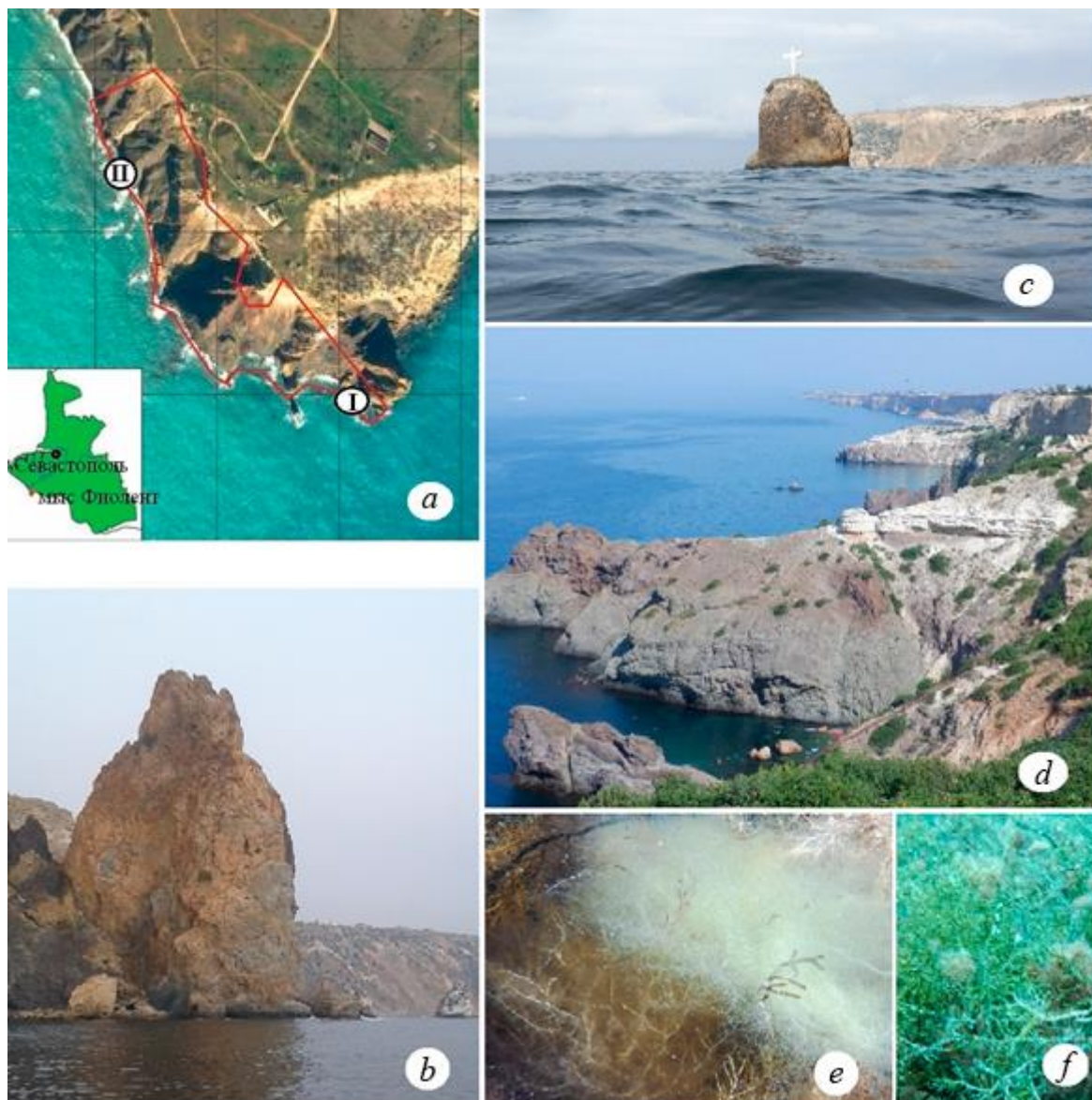


Рис. 1. Прибрежный аквальный комплекс у мыса Фиолент (Севастопольский регион)
a – схема расположения разрезов; *b, c* – пляж «Яшмовый» (I) (N 44°30.244'; E 33°30.225'); *d* – пляж «Царский» (II) (N 44°30.461'; E 33°28.921'); заросли макроводорослей на глубинах 1 (*e*) и 10 (*f*) метров.

видовой состав водорослей с применением микроскопа «Армед XS-90» и сырую массу на электронных весах «ВК-600».

Для идентификации видов руководствовались отечественным определителем (Зинова, 1967) и учитывали результаты последних номенклатурных ревизий (Guiry, Guiry, 2023). Виды распределяли по группам встречаемости, разных сроков вегетации, фитосапробности и фитогалобности в соответствии со шкалой (Калугина-Гутник, 1975). Для описания фитоценозов рассчитывали коэффициент встречаемости (R , %) ключевых видов-продуцентов, выравненность видов по биомассе оценивали по индексам Шеннона (H) и Пиелу (E) (Дажо, 1975; Розенберг, 2010). По индивидуальной фитомассе и с применением шкалы доминирования Е. Л. Любарского, базирующейся на сведениях об относительной фитомассе видов, определяли группы малозначимых и второстепенных видов, содоминантов и доминантов разных категорий (Баканов, 2005).

Для описания пространственной изменчивости МФБ определяли лимиты, размах вариации и среднее значение его характеристик с доверительным интервалом (уровень

достоверности $p=0,05$) (Жукова, Миинец, 2019). По величине коэффициента вариации (C_v , %) оценивали тип изменчивости признаков по семибальной шкале (небольшое варьирование, верхне- и нижненормальный, значительный, большой, очень большой, аномально высокий) (Зайцев, 1990). Особенности батиметрических изменений видового состава исследовали на примере групп – индикаторов сапробности (олиго-, мезо- и полисапробная) и галобности (морская, солоноватоводно-морская и солоноватоводная) морской среды.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Фитомасса бентосных водорослей в акватории пляжа «Яшмовый» (восточная граница ПАК). Большую часть побережья памятника природы занимает эрикариево-гонголариевый фитоценоз (Панкеева и др., 2022). Исследования показали, что на восточном участке ПАК абсолютная биомасса этого фитоценоза варьирует от 1345 до 7952 г·м⁻², достигая в среднем для станций разреза 5122±2807 г·м⁻². Размах крайних значений показателя (6607 г·м⁻²), величина доверительного интервала и коэффициента вариации (63 %) свидетельствуют о высокой изменчивости продукционной характеристики фитоценоза, которая по шкале Г. Н. Зайцева соответствует типу «значительная». Отметим, что подавляющее большинство видов (73 %) имеют фитомассу менее 1,0 г·м⁻². Основу общей абсолютной фитомассы составляют бурые водоросли. Их средняя фитомасса достигает 64 % от этого показателя у фитоценоза на восточной границе ПАК. Анализируемая характеристика Ochrophyta (Och) варьирует так широко, что ее крайние значения различаются в 5 раз. Судя по величине коэффициента вариации (58 %), тип изменчивости фитомассы Och, как базового продуцента, совпадает с таковым у сообщества водорослей в целом. На всех глубинах, кроме 1 м, доминирует представитель бурых водорослей *Ericaria crinita* (Duby) Molinari et Guiry. На 1 м роль ключевого продуцента выполняет *Gongolaria barbata* (Stackh.) Kuntze. Отсюда частота доминирования *Ericaria crinita*, в соответствии с представлениями Де Фриза, равна 80 % (Баканов, 2005). На второй позиции находятся представители Rhodophyta (Rh). О значимости их участия в продукционном процессе свидетельствует тот факт, что на одной из станций разреза они разделяют с бурыми водорослями место лидера. Средняя фитомасса видов Rh (1713±1306 г·м⁻²) вдвое меньше, чем у Och и достигает 33,5 % от этого показателя у альгоценоза. На *Vertebrata subulifera* (C. Agardh) Kuntze приходится 71 % общей фитомассы красных водорослей, а у более половины видов отдела (69 %) фитомасса менее 1,0 г·м⁻². Представители Chlorophyta (Ch) произрастают в диапазоне глубин, более узком (от 0,5 до 5 м), чем у других отделов. На долю их фитомассы на этих горизонтах приходится от тысячных долей до 10 % фитомассы МФБ. Среди видов отдела весомый вклад в продукционный процесс вносят *Cladophora albida* (Nees) Kütz. и *Ulva intestinalis* L.

Бурые водоросли лидируют не только по абсолютной, но и по относительной фитомассе, средняя величина которой (68±11 %) вдвое выше, чем у Rh и в 21 раз, чем у Ch. Пространственные вариации данного показателя у отделов увеличиваются в порядке: Och>Rh>Ch, что соответствует характеру изменений абсолютной фитомассы. То есть, наибольшей устойчивостью в пространстве отличается отдел, лидирующий по вкладу в процесс формирования фитомассы МФБ, а наименьшей – отдел с более узкой зоной распространения в акватории пляжа «Яшмовый» и низкой фитомассой.

Синхронность пространственных вариаций фитомассы МФБ и Och иллюстрирует ценоотическую значимость отдела в качестве ключевого продуцента (рис. 2). Максимум абсолютной фитомассы Ch зафиксирован на 1 м, Och – на 1 и 3 м, Rh – на 5 м, фитоценоза – на всех указанных глубинах. Наименьшее значение показателя у Ch отмечено на 3 м, у Och, Rh и фитоценоза – на 0,5 м.

Данные по относительной фитомассе позволяют распределить виды по группам в соответствии со шкалой, предложенной Е. Л. Любарским для определения степени продукционного доминирования видов (таблица). Основная часть видов попадает в группу элементов, малозначимых по вкладу в продукционный процесс. За ними следуют

второстепенные виды. Среди них отмечены один вид Ch, два вида Och и четыре – Rh. Группы высоких категорий доминирования представлены доминантами и субдоминантами. Роли доминантов выполняют *Ericaria crinita* и *Vertebrata subulifera*, субдоминанта – *Gongolaria barbata*.

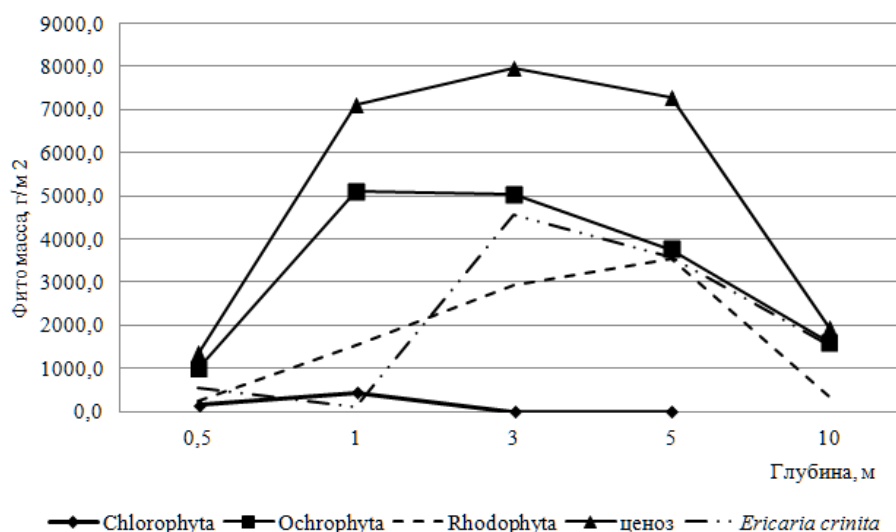


Рис. 2. Батиметрические изменения фитомассы отделов и фитоценоза охраняемой акватории пляжа «Яшмовый»

Таблица

Группы продукционного доминирования макроводорослей по шкале Е. Л. Любарского

Степень доминирования видов	I		II	
	n*	%**	n	%
Малозначимый	38	79	37	84
Второстепенный	7	15	4	9
Субдоминантный	1	2	2	5
Доминантный	2	4	0	
Абсолютный доминантный	–	–	1	2
Общее число видов	48		44	

Примечание к таблице. * – абсолютное число видов, ** – относительное число видов.

Индекс Шеннона изменяется от 0,90 на 10 м до 2,68 – на 0,5 м. Территориальная локация максимума индекса связана с тем, что условия обитания гидробионтов на мелководье отличаются разнообразием и динамичностью, что предопределяет высокое разнообразие видов, выполняющих функцию содоминантов. Для всего фитоценоза индекс составляет 2,59. Величина индекса Пиелу (0,72) близка к 1, что указывает на равномерное сложение сообщества по фитомассе на восточной границе ПАК.

Фитомасса бентосных водорослей в акватории пляжа «Царский» (западная граница ПАК). На данном участке ПАК абсолютная биомасса фитоценоза изменяется от 1698 до 8540 г·м⁻² и в среднем для станций достигает 4654±2340 г·м⁻². Размах крайних значений показателя (6842 г·м⁻²), величина доверительного интервала и коэффициента вариации (63 %) свидетельствуют о высокой вариабельности продукционной характеристики фитоценоза («значительная»). У половины видов, обитающих в акватории пляжа, фитомасса не достигает 1,0 г·м⁻². Наибольшая часть абсолютной фитомассы МФБ сформирована за счет бурых водорослей (рис. 3). Их вклад в среднюю фитомассу сообщества на западном участке составляет 78 %. Минимум и максимум анализируемой характеристики Och различаются в 5

раз. Тип изменчивости фитомассы Och и МФБ совпадает. На всех глубинах господствует *Ericaria crinita*, что обеспечивает ей максимально высокую частоту доминирования (100 %). На втором месте по продукционной значимости находятся представители Rh, средняя абсолютная фитомасса ($1152 \pm 910 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$) которых втрое меньше, чем у Och и составляет 23 % от этого показателя у сообщества. Величина доверительного интервала и коэффициента вариации (92 %) позволяют определить интенсивность пространственных вариаций фитомассы Rh как «очень большую». 67 % фитомассы красных водорослей приходится на *Vertebrata subulifera*, у более половины видов отдела (52 %) этот показатель меньше $1,0 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$. Абсолютная фитомасса Ch колеблется от 0,1 до $41,0 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$. Ее крайние значения, размах вариации и средняя величина во много раз ниже, чем у других отделов. 60 % фитомассы Ch приходится на *Ulva intestinalis*, тогда как у других представителей отдела относительная фитомасса менее 0,2 %. Средняя относительная фитомасса Och ($78,3 \pm 8,8 \%$) втрое выше, чем у Rh и на порядки, чем у Ch.

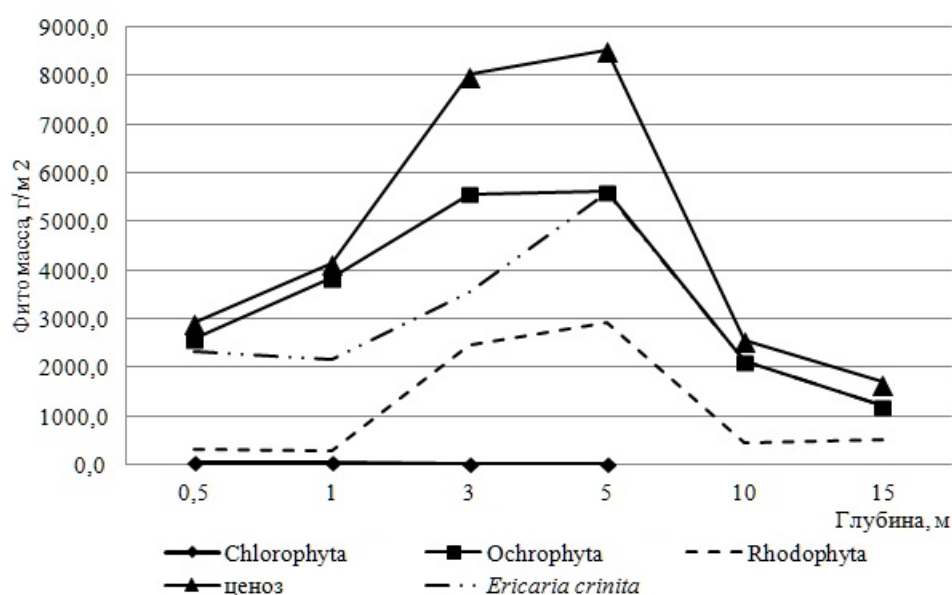


Рис. 3. Батиметрические изменения фитомассы отделов и фитоценоза охраняемой акватории пляжа «Царский»

Интенсивность пространственных вариаций абсолютной и относительной фитомассы у отделов возрастает в направлении: Och>Rh>Ch. Кривые, описывающие изменения абсолютной фитомассы по глубинам, большей частью идентичны у Och, Rh, МФБ, а также у ключевого продуцента *Ericaria crinita*, но только начиная с 1 м (рис. 3). Отмечено совпадение локаций максимума фитомассы Ch и минимума у Rh (0,5 и 1 м), минимумов показателя у Och и МФБ (15 м). Кроме того, для сообщества на глубине 3 м характерен пик количественного развития Och, Rh и МФБ, а для Rh и МФБ еще и на 5 м, то есть на горизонте, где фитомасса зеленых водорослей ничтожно мала. Вертикальное распределение фитомассы отделов хорошо согласуется с ослаблением интенсивности и обеднением спектрального состава света с глубиной (Звалинский, 1986; Дуленин, 2015).

Подавляющее большинство видов (84 %), обитающих в акватории западной части охраняемого объекта, имеют невысокую относительную фитомассу и в соответствии со шкалой Е. Л. Любарского относятся к малозначимым элементам (таблица). В фитоценозе отмечены абсолютный доминант *Ericaria crinita* и содоминанты – *Vertebrata subulifera* и *Gongolaria barbata*. Виды категории «доминант» отсутствуют. Четыре вида, среди которых больше представителей Rh, являются второстепенными элементами. В эту группу, в частности, входит *Phyllophora crispa* (Huds.) P. S. Dixon, обнаруженная на глубинах 10 и 15 м, где расположено урочище подводного склона, одной из характеристик которого является

мозаичное чередование галечно-гравийных донных осадков с битой ракушей (Панкеева и др., 2022). *Phyllophora crispa* известна как ключевой ценозообразующий черноморский вид, однако в районе исследований ее вклад в общую фитомассу невелик и составляет 4 и 13 %.

Индекс Шеннона изменяется от 0,85 на 10 м до 1,90 на 1 м. Для всего фитоценоза индекс составляет 1,90, а средний для глубин – 1,36. Величина индекса Пиелу (0,71) близка к 1.

Сравнительная характеристика продукционного потенциала макрофитобентоса на восточной и западной границах ПАК. Учитывая степень равномерности сложения фитоценоза по биомассе, следует ожидать, что в случае обнаружения различий МФБ на двух участках, они будут не столь заметными и касающимися только его отдельных параметров. Одно из установленных отличий относится к уровню общей фитомассы МФБ и входящих в него отделов на некоторых горизонтах. Так, абсолютная фитомасса Ch на 0,5 м, Rh и фитоценоза на 1 м выше в акватории пляжа «Яшмовый», в районе же пляжа «Царский» и только на 5 м более высоким уровнем этого показателя отличаются Och и фитоценоз (рис. 2, 3). Среднее для исследованной части фитали значение индекса H, степень разнообразия второстепенных видов, средняя абсолютная фитомасса Rh и фитоценоза, вклад Ch и Rh в среднюю фитомассу МФБ больше в акватории пляжа «Яшмовый». Здесь же на порядок выше средняя фитомасса Ch, отсутствуют «абсолютные» доминанты, но есть такие виды-доминанты, как *Ericaria crinita* и *Vertebrata subulifera*. В районе пляжа «Царский» *Ericaria crinita* выполняет функцию «абсолютного» доминанта.

МФБ двух участков ПАК характеризуется равной или близкой к ней фитомассой Ch, Rh и фитоценоза на глубине 3 м, а также средней фитомассой Och. Повсеместно проявляется господство малозначимых видов, а среди отделов – Och. Вторую и третью позицию неизменно занимают Rh и Ch. Примерно одинаковым выглядит список видов, вносящих существенный вклад в процесс формирования фитомассы отделов и альгоценоза. К ним относятся *Ulva intestinalis*, *Gongolaria barbata*, *Ericaria crinita*, *Laurencia obtusa* (Huds.) J.V. Lamour. и виды *Cladophora* Kütz. Альгоценозу на двух участках ПАК характерен один и тот же тип пространственной вариабельности абсолютной фитомассы отделов и одинаковая тенденция ее батиметрических изменений у Och, Rh и МФБ. Индекс Шеннона на обоих участках изменяется широко с максимумом на малых глубинах и минимумом на больших. Величина индекса Пиелу, близкая к 1, свидетельствует об относительно равномерном сложении фитоценоза по анализируемому показателю.

Флористический состав и видовое разнообразие групп сапробности, галобности, встречаемости и разных сроков вегетации водорослей ПАК. В состав МФБ охраняемого объекта входят макроводоросли 12 групп, среди которых наибольшим числом видов отличаются ведущая (58 % от общего числа идентифицированных видов), олигосапробная (58 %) и морская (69 %). Среди групп с разной продолжительностью жизни равное и преимущественное развитие получают одно- и многолетники. Спектры групп у отделов не совпадают между собой. Отличительными особенностями Ch являются примерно равная видовая представленность всех групп видов с разной встречаемостью в бентосе Черного моря, отсутствие сезонных видов, господство однолетних (90 % от числа видов в отделе), мезосапробных (50 %) и солоноватоводно-морских (70 %) видов (рис. 4, 5). Групповой спектр Och редуцирован за счет однолетников, мезо- и полисапробионтов, солоноватоводно-морской группы. Об однородности качественного состава бурых водорослей свидетельствует высокая доля доминирующих групп (61–100 %). Такие водоросли известны своей требовательностью к качеству среды обитания и при наличии соответствующих условий формируется адекватный им комплекс видов (Великанов и др., 1981). В районе исследований Och на 100 % состоят из морских и олигосапробных водорослей. Красные водоросли, доминирующие по таксономическому разнообразию, представлены всеми 12 группами, среди которых очень много ведущих, одно- и многолетних, олигосапробных и морских (41–76 % от общего числа видов отдела) видов. Групповые спектры Rh и альгоценоза полночленные, с единым комплексом доминирующих групп.

Сравнение состава МФБ на двух участках показало, что различие по числу видов в большинстве имеющихся групп незначительное и составляет один или два таксона (рис. 6).

Отмечено равное видовое представительство солоноватоводной и сезонной групп. Совпадает или близка к совпадению доля (в %) видов всех групп встречаемости, солоноватоводно-морских, солоноватоводных, одно- и многолетних, сезонных, мезо- и олигосапробных водорослей. Более весомое отличие характерно однолетникам и олигосапробионтам, абсолютное число видов которых на три–четыре таксона выше в сообществе акватории пляжа «Яшмовый». Заметным является и различие по вкладу в общий состав видов морской группы. Абсолютное число видов в ней в районе пляжа «Яшмовый» выше только на 2 таксона, но доля их уже больше вдвое (69 % от общего числа видов в альгоценозе пляжа). Для фитоценоза в целом на западном участке характерно более высокое видовое разнообразие полисапробионтов и почти вдвое больший вклад их в общий состав. Такое разнообразие полисапробионтов, высокий вклад солоноватоводно-морских и солоноватоводных видов

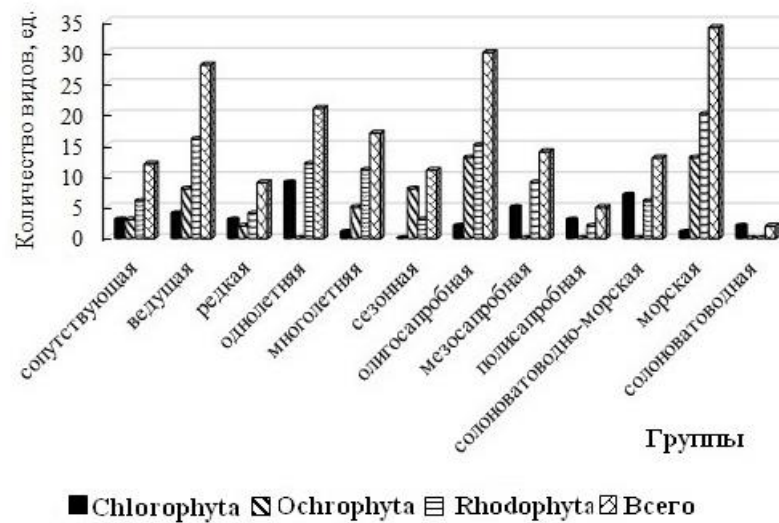


Рис. 4. Флористический состав и видовая насыщенность разных групп водорослей на охраняемой акватории пляжа «Яшмовый»

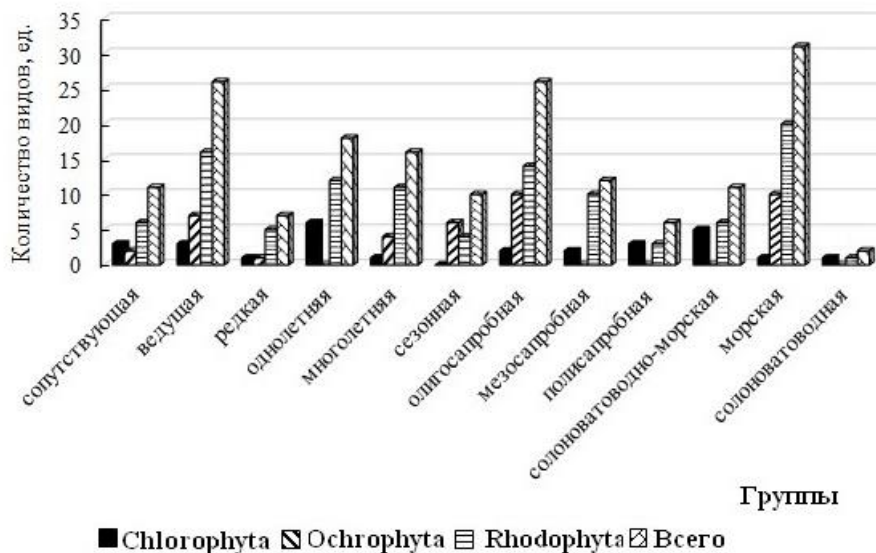


Рис. 5. Флористический состав и видовая насыщенность групп водорослей на разных участках охраняемой акватории пляжа «Царский»

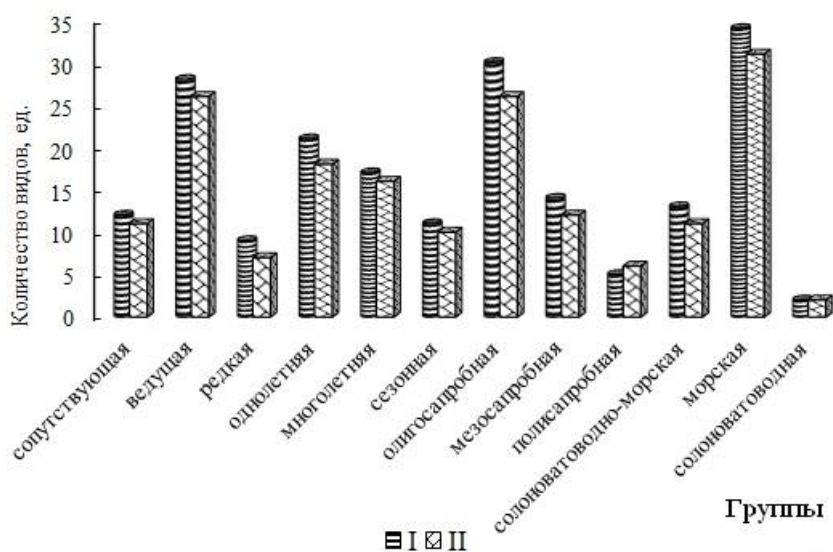


Рис. 6. Распределение видов между группами сапробности, галобности, с разной встречаемостью и в зависимости от сроков вегетации
I – пляж «Яшмовый», II – пляж «Царский».

указывают на формирование в акватории пляжа «Царский» экологической ситуации, близкой к критичной. Спектры групп в фитоценозе в целом на двух участках являются полноценными с одинаковым комплексом лидирующих групп (ведущая, морская, одно- и многолетняя, олигосапробная).

Сходство и различие характерно и для группового спектра каждого из отделов. Для Ch на любом из обследованных участков характерно отсутствие сезонных видов, равное абсолютное число видов в сопутствующей, многолетней, олигосапробной, полисапробной и морской группах. Одинаковым является и относительное число многолетних и солоноватоводно-морских видов. Тем не менее, Ch на восточном участке ПАК отличается более высоким видовым разнообразием редких, однолетних и мезосапробных водорослей. Перечень базовых по числу видов групп совпадает, за исключением того, что на западном участке более высокое развитие получают полисапробионты, на восточном – мезосапробионты. Общей характеристикой Och на западном и восточном участках ПАК являются отсутствие однолетних, мезосапробных, солоноватоводно-морских видов и одинаковый комплекс ключевых групп. Сапробную и галобную части спектра бурых водорослей отличает высокая однородность за счет абсолютного господства олигосапробионтов и типично морских видов. Спектр видов Rh представлен всеми 12 группами, на двух участках ПАК он проявляет высокое качественное и количественное сходство.

Таким образом, выявленные различия групповых спектров трех отделов и фитоценоза не могут считаться существенными. Особого внимания заслуживает только факт весомого вклада полисапробионтов и совместная доля групп-индикаторов распределения морской среды в акватории пляжа «Царский».

Сходство состава макроводорослей на восточном и западном участке памятника природы позволяет ограничить описание батиметрической изменчивости числа видов в разных группах на примере таких важных индикаторов качества среды, как группы сапробности (олиго-, мезо и полисапробная) и галобности (солоноватоводная, солоноватоводно-морская и морская) в фитоценозе пляжа «Яшмовый». Установлено, что встречаемость представителей большинства перечисленных групп составляет 100 % и только у полисапробионтов (R=80 %) и солоноватоводных видов (R=60 %) она ниже. На каждой глубине количественно доминируют морская и олигосапробная группы. Вторую позицию неизменно занимают

мезосапробные и солоноватоводно-морские водоросли. Максимум абсолютного числа видов приурочен к 0,5 и 1 м, минимум – к нижней границе распространения макроводорослей в акватории пляжа. Отсутствие донной растительности на глубине более 10 м, где распространено урочище слабонаклонной равнины из песчаных отложений, было отмечено ранее (Панкеева и др., 2022). Связь между глубиной обитания и абсолютным числом видов в группах проявляется по-разному. У мезосапробионтов она обратно пропорциональная, а у полисапробионтов и солоноватоводно-морских растений такой же характер взаимосвязи зафиксирован в части фитали, ограниченной глубинами 0,5 и 3 м. В динамике числа видов у олигосапробионтов и в морской группе можно только выделить четкую локацию максимума (1 м) и минимума (10 м). Данные о доле участия (в %) каждой группы в формировании сапробной и галобной частей экоспектра МФБ свидетельствуют о том, что он наиболее однороден на глубине 10 м, где на отдельные группы приходится по 90 % от общего числа видов в сообществе. В таких группах абсолютное и относительное число видов проявляет устойчивость в пространстве и их батиметрические колебания осуществляются в пределах биологической «нормы». У остальных групп количественная трансформация видового состава происходит интенсивнее. На 0,5 м степень доминирования отдельных сапробных и галобных групп не столь велика как на других горизонтах. Очевидно, более динамичные условия обитания на мелководье способствуют развитию видов с самыми разными экологическими предпочтениями и генетически закрепленными сроками вегетации. Среднее абсолютное число видов, как и относительное, в доминирующих группах во много раз выше, чем у групп, занимающих соподчиненное положение.

ВЫВОДЫ

1. В ходе исследований получены данные о величине биомассы МФБ на разных участках памятника природы у мыса Фиолент и в зависимости от глубины обитания водорослей. Установлено, что в охраняемой акватории ключевыми продуцентами среди отделов является Ochrophyta, среди видов – *Vertebrata subulifera*, *Ericaria crinita*, *Gongolaria barbata*, *Phyllophora crispa*. Отмечено доминирование малозначимых видов с фитомассой менее 1 % от таковой у альгоценоза.

2. Показано, что в части фитали, ограниченной 0,5 и 3 м для Och и МФБ, 0,5 и 5 м для Rh, проявляется прямая связь между глубиной и величиной фитомассы, в остальной части она обратная.

3. Среднее значение индекса Шеннона и величина индекса Пиелу свидетельствуют об относительно равномерном распределении видов по абсолютной фитомассе на разных участках и по глубинам.

4. Фитобентос охраняемой акватории состоит из представителей групп сапробности, галобности, разных сроков вегетации и встречаемости в Черном море, среди которых доминируют морские, ведущие, однолетние и олигосапробные виды. Наибольшим качественным своеобразием отличается Chlorophyta за счет высокого развития редких видов и индикаторов средней степени распреснения и органического загрязнения морской среды.

5. Видовой состав выделенных групп подвержен батиметрической изменчивости с разной степенью интенсивности. Различия же в числе видов у большинства групп на двух участках незначительные, однако, весомость вклада полисапробионтов и совместная доля групп-индикаторов распреснения морской среды указывают на ухудшение экологической обстановки в акватории пляжа «Царский».

В целом, проведенные гидробиологические исследования позволяют сформировать объективное представление о современном состоянии бентосной флоры особо охраняемых природных территорий и повысить прикладную значимость составляемых прогнозов для прибрежных участков Крымского полуострова, вовлекаемых в хозяйственную деятельность человека.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН (проект № 121030300149-0).

Список литературы

- Баканов А. И. Количественная оценка доминирования в экологических сообществах // Количественные методы экологии и гидробиологии: сборник научных трудов / [Ред. чл.-корр. РАН Г. С. Розенберг]. – Тольятти: СамНЦ РАН, 2005. – С. 37–68.
- Великанов Л. Л., Гарибова Л. В., Горбунова Н. П. Курс низших растений. – Высшая школа, 1981. – 504 с.
- Горячкин Ю. Н. Современное состояние береговой зоны Крыма. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2015. – 252 с.
- Грузинов В. М., Дьяков Н. Н., Мезенцева И. В., Мальченко Ю. А., Жохова Н. В., Коршенко А. Н. Источники загрязнения прибрежных вод Севастопольского района // Океанология. – 2019. – Т. 59, № 4. – С. 579–590. <https://doi.org/10.31857/S0030-1574594579-590>
- Даждо Р. Основы экологии. М.: Прогресс, 1975. – 245 с.
- Дьяков Н. Н., Мальченко Ю. А., Липченко А. Е., Боброва С. А., Тимошенко Т. Ю. Гидролого-гидрохимические характеристики прибрежных вод Крыма и необходимые мероприятия по снижению уровня загрязнения рекреационных зон // Труды государственного океанографического института. – 2020. – № 221. – С. 163–194.
- Дуленин А. А. Распространение сублиторальной растительности материкового побережья Охотского моря (в пределах Хабаровского края) // Известия Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра. – 2015. – 180 (1). – 107–27.
- Евстигнеева И. К., Танковская И. Н. Таксономический анализ макрофитобентоса акватории памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Фиолент» (Черное море) // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. – 2023, Вып. 2. – С. 179–194. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2023-2-179-194>
- Жукова А. А., Минец М. Л. Биометрия. Описательная статистика: Учебное пособие. – Минск: БГУ. Ч. 1., 2019. – 100 с.
- Зайцев Г. Н. Математика в экспериментальной ботанике. – М.: Наука, 1990. – 96 с.
- Звалинский В. И. Закономерности влияния интенсивности и спектрального состава света на фотосинтез морских водорослей: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – 03.01.02 – Минск: Институт фотобиологии АН БССР, 1986. – 45 с.
- Зинова А. Д. Определитель зеленых, бурых и красных водорослей южных морей СССР. – М.– Л.: Наука, 1967. – 397 с.
- Игнатов Е. И., Орлова М. С., Санин А. Ю. Береговые морфосистемы Крыма. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. – 267 с.
- Калугина А. А. Исследование донной растительности Черного моря с применением легководолазной техники // Морские подводные исследования. – 1969. – С. 105–113.
- Калугина-Гутник А. А. Фитобентос Черного моря. – Киев: Наукова думка, 1975. – 248 с.
- Маньковский В. И., Маньковская Е. И. Оптические аномалии в Севастопольском антициклоническом вихре // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – Севастополь: МГИ. – 2019. – № 1. – С. 48–53.
- Панкеева Т. В., Миронова Н. В., Пархоменко А. В. Ландшафтные исследования памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Фиолент» // Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского – природного заповедника РАН. – 2022. – Т. 7, № 3 (23). – С. 45–60.
- Позаченюк Е. А., Панкеева Т. В., Панкеева А. Ю., Пизова Е. В. Состояние особо охраняемых природных территорий города федерального значения Севастополя // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2020. – Т. 6 (16), вып. 2. – С. 161–171.
- Розенберг Г. С. Информационный индекс и разнообразие: Больцман, Котельников, Шеннон, Уивер ... // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. – 2010. – Т. 19 (2). – С. 4–25.
- Coad L., Watson J. E., Geldmann J., Burgess N. D., Leverington F., Hockings M., Knights K., Marco M. Widespread shortfalls in protected area resourcing undermine efforts to conserve biodiversity // *Frontiers in Ecology and the Environment*. – 2019. – Vol. 17 (5). – P. 259–264.
- Fernández C. G., Paulo D., Serrão E. A., Engelen A. H. Limited differences in fish and benthic communities and possible cascading effects inside and outside a protected marine area in Sagres (SW Portugal) // *Journal Marine Environmental Research*. – 2016. – Vol. 114. – P. 12–23.
- Guiry M. D., Guiry G. M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. URL: <http://www.algaebase.org> (Searched on June 2023).

Evstigneeva I. K., Tankovskaya I. N. Composition and biomass of macrophytobenthos of the natural monument "Coastal aquatic complex at Cape Fiolent" (Black Sea) // Ekosistemy. 2023. Iss. 36. P. 75–86.

The productive potential of benthic phytocenoses within the waters of Cape Fiolent Natural Monument was assessed and the peculiarities of species distribution in terms of saprobity, halobity, the degree of occurrence in the Black Sea and dependence on the vegetation period of macroalgae was revealed. The researchers studied Phytobenthos samples collected in July 2021 in the eastern and western sections of the protected area from depths ranging from 0.5 to 15 m. A total of 44 quantitative samples were collected. Results indicate that Ochrophyta is the dominant producer among the divisions in the phytocenosis of the natural monument, followed by Rhodophyta and Chlorophyta. Species of high dominance categories include *Vertebrata subulifera*, *Ericaria crinita*, *Gongolaria barbata* and *Phyllophora crispa*. Less significant species demonstrate high diversity, with their relative phytomass being less than 1%. It was found that the minimum and maximum of the average phytomass of the divisions do not coincide in space. The study revealed that the phytocenosis in the two sections of the protected waters displays the same type of spatial variability in absolute phytomass among Ochrophyta and macrophytobenthos, with comparable bathymetric changes. The value of Pielou index (0.72) approaches 1, indicating a uniform composition of the cenosis in terms of phytomass. Taking into account the factors of salinity and saprobity of environment, depending on the degree of occurrence in the Black Sea and duration of vegetation, the algae inhabiting the waters of the natural monument are distributed among 12 groups. The marine, leading, annual and oligosaprobic groups are represented by the largest number of species. The group spectra within divisions and the degree of species diversity within each group in the surveyed areas of the natural monument differ insignificantly. The significant correlation between habitat depth and species richness within the indicator groups for halobity and saprobity regime is demonstrated. Furthermore, the data on the contribution of polysaprobionts and indicators of desalination sea water indicate the deterioration of the ecological situation in the waters of the Tsarsky beach aquatory.

Key words: macrophytobenthos, phytomass phytohalobic and phytosaprobic composition; occurrence, vegetation period, variability, Crimea, Black Sea.

Поступила в редакцию 31.07.23

Принята к печати 18.09.23

Биоценоз *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) в Керченском проливе (Азово-Черноморский бассейн)

Терентьев А. С.

Всероссийский институт рыбного хозяйства и океанографии
Керчь, Россия
iskander65@bk.ru

Двустворчатый моллюск *Anadara kagoshimensis* является недавним вселенцем в Азово-Черноморский бассейн из умеренных вод Тихого океана. К настоящему времени *A. kagoshimensis* стал одним из доминантных видов в Керченском проливе. В составе биоценоза *A. kagoshimensis* насчитывается 49 видов животных. Плотность видов колеблется от 1 до 24 и в среднем равняется $8,9 \pm 1,2$ вид/0,1 м². В видовом отношении преобладают ракообразные. Число их видов находится в пределах от 10 до 1320, в среднем 380 ± 100 экз./м². Численно преобладают двустворчатые моллюски и ракообразные. Биомасса изменяется от 8 до 1526 в среднем 400 ± 100 г/м². По биомассе доминируют двустворчатые моллюски. На долю доминантного вида в среднем приходится 6–13 % общей численности особей в биоценозе и 75–85 % биомассы особей биоценоза. Наиболее высокого уровня развития этот биоценоз достигает на ракуше, а наиболее низкого на песке. В целом, видовой состав биоценоза на разных грунтах отличается довольно высоким сходством. Наиболее сильные различия в видовом отношении наблюдаются между частями биоценоза, сформированными на песке и на ракуше. К 2016 году биоценоз распространился на всю северную часть пролива, но не дошел до Черного моря. Биоценоз *A. kagoshimensis* в Черном и Азовских морях образовался на местах, характерных для биоценозов *Cerastoderma glaucum* и *Chamelea gallina*. При трансформации биоценоза *C. glaucum* видовое богатство уменьшилось в 1,2 раза, при этом плотность видов увеличилась в 2,0–2,4 раза. Общая численность особей биоценоза осталась на прежнем уровне. Общая биомасса, за счет биомассы анадары, увеличилась в 1,9–4,5 раза. При трансформации биоценоза *Ch. gallina* видовое богатство уменьшилось в 3,6 раза. Плотность видов практически не изменилась. Общая численность особей биоценоза уменьшилась в 2,6–4,2 раза, общая биомасса – в 1,2–1,7 раза. При образовании биоценоза *A. kagoshimensis* на месте биоценоза *C. glaucum* произошло внедрение вселенца в ранее существовавшее сообщество, в котором он занял лидирующее место. В то время как его образование на месте биоценоза *C. gallina* сопровождалось существенной перестройкой предшествующего сообщества.

Ключевые слова: *Anadara kagoshimensis*, Керченский пролив, Азово-Черноморский бассейн, биоценоз, зообентос, сукцессия.

ВВЕДЕНИЕ

В прошлом столетии, в результате повышения активности судоходства, в Азово-Черноморский бассейн проникло большое количество видов-вселенцев. Этому также способствовала хозяйственная деятельность по интродукции некоторых видов. В настоящее время этот процесс продолжается.

Одним из таких видов стал недавний вселенец *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906), попавшая в Черное море из умеренных широт Тихого океана (Zaitzev, Mamaev, 1997). Впервые она была отмечена в 1968 году на Кавказском побережье в районе Туапсе – Шеспи (Ревков, 2016) и была определена М.И. Киселевой (1992) как *Cunearca cornea* (Reeve, 1844). В результате генетического анализа этот вид отнесен к *A. kagoshimensis* (Krapal et al., 2014).

В настоящее время она полностью колонизировала Азовское море (Живоглядова и др., 2021), где сформировала собственный биоценоз (Terentijev, Litvinenko, 2000; Фомичёва, Фроленко, 2007; Терентьев, 2009; Фроленко, Мальцева, 2017; Ревков, Болтачева, 2021; Болтачева и др., 2022). В настоящее время ее биоценоз сформировался и в Керченском проливе.

Этот биоценоз представляет особый интерес, так как он оказался достаточно новым образованием для Азово-Черноморского бассейна.

Цель работы – изучить видовое богатство, оценить численность и биомассу особей биоценоза *A. kagoshimensis* в Керченском проливе.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В работе использовались материалы, собранные в Керченском проливе с 1986 по 2016 год. Пробы отбирались дночерпателем Петерсена, площадью охвата 0,1 м². Всего выполнено 352 станции (рис. 1).

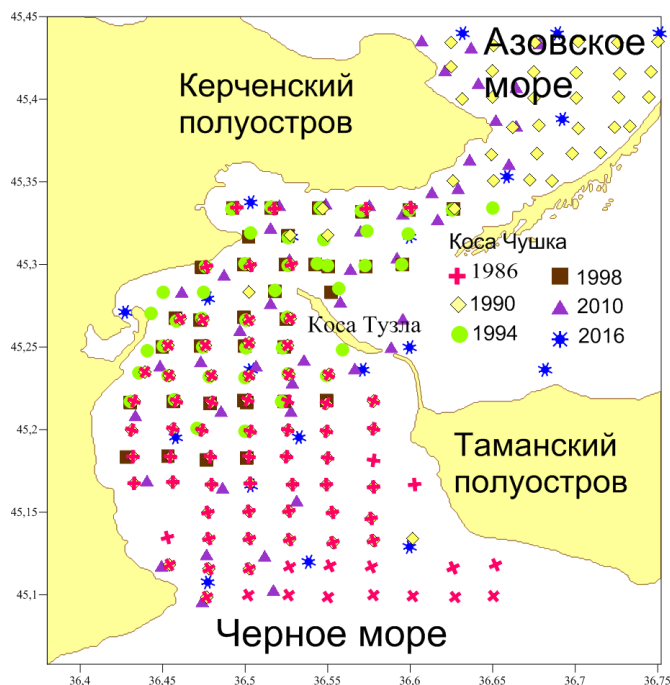


Рис. 1. Карта-схема гидробиологических станций в Керченском проливе (1986–2016 гг.)

Сбор материала осуществлялся по общепринятым методикам (Жадин, 1960). На каждой станции оценивалось количество видов, численность особей и биомасса. Крупные животные взвешивались с точностью до 0,1 г, мелкие – до 0,001 г. Список видов приведен по Определителю фауны Черного и Азовского морей (1968, 1969, 1972), с уточнениями по номенклатурным изменениям (Pilombo, 2004; Krapal et al., 2014; Wesselingh et al., 2019; WoRMS, 2022). Биоценоз выделялся по виду, имеющему наиболее высокую биомассу, с учетом его численности (Воробьев, 1949). Такой способ выделения биоценоза является традиционным для Азовского и Черного морей. В зависимости от встречаемости виды разделялись на руководящие более 50 %, характерные – 25–50 %, менее 25 % – редкие (Броцкая, Зенкевич, 1939; Лейбсон, 1939; Bodenheimer, 1955; Balogh, 1958). Виды, представленные одной особью, относились в категорию очень редких видов.

Поскольку выявление количества видов (видовое богатство) недостаточно для описания видового разнообразия (Hurlbert, 1971; Песенко, 1982), для оценки выравненности видового состава использовался индекс полидоминантности Симпсона (Simpson, 1949):

$$D = \frac{N(N-1)}{\sum_i n_i(n_i-1)},$$

где: n_i – численность i -го вида; N – общая численность особей.

По мнению Г. С. Розенберга (2007) индекс полидоминантности Симпсона является весьма чувствительным индикатором доминирования одного или нескольких видов.

В качестве меры сходства использовался индекс Чекановского-Сёренсена, вычисляемый по формуле:

$$I_{CS} = \frac{2c}{a+b}$$

и Синкевича-Симпсона – по формуле:

$$I_{SZS} = \frac{c}{a}, \text{ при } b \geq a,$$

где: a и b – количество видов в первом и втором списке; c – количество общих видов. Степень влияния различных факторов оценивался с помощью дисперсионного анализа (Любищев, 1986).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В Керченском проливе биоценоз *A. kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) располагается на глубинах от 3 до 10 м. Впервые был обнаружен в 1986 году в средней части пролива возле Керченского полуострова (рис. 2).

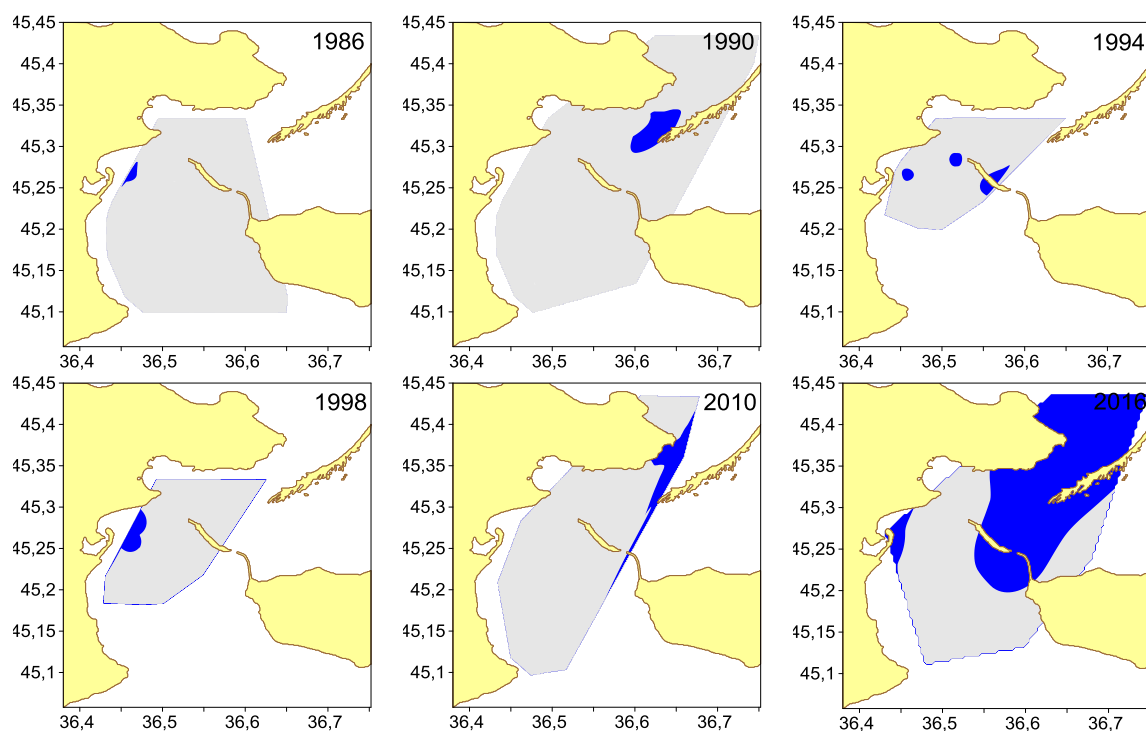


Рис. 2. Биоценоз *Anadara kagoshimensis* в Керченском проливе (1986–2016 гг.)

В 1990 году этот биоценоз был обнаружен возле оконечности косы Чушка. Еще через четыре года он фрагментарно располагался в центральной части залива. Еще через четыре года он занимает значительный участок дна возле Керченского полуострова. В 2010 году он располагался между северной частью Керченского полуострова и косой Чушка, и доходил до косы Тузла. К 2016 году этот биоценоз распространился на всю северную часть пролива. На юге он заходит за косу Тузла, но не доходит до Черного моря. Также его фрагмент располагается возле Керченского полуострова.

Его видовое богатство насчитывало 49 видов животных или 39 % всех видов макрозообентоса Керченского пролива обнаруженных в дночерпательных пробах (табл. 1).

Таблица 1

Видовой состав и средний уровень развития биоценоза *Anadara kagoshimensis*
в Керченском проливе (1986–2016 гг.)

Вид	Численность, экз./м ²	Биомасса, г/м ²	Встречаемость, %
1	2	3	4
Книдарии			
<i>Actinia equina</i>	2,40±1,30	0,800±0,440	18–40
<i>Cylista undata</i>	0,39±0,10	0,004±0,001	1–12
Сумма	2,80±1,30	0,810±0,440	
Полихеты			
<i>Alitta succinea</i>	5,50±1,90	0,280±0,120	35–59
<i>Genetyllis tuberculata</i>	0,39±0,27	0,001±0,001	4–20
<i>Hediste diversicolor</i>	0,78±0,45	0,008±0,005	8–27
<i>Heteromastus filiformis</i>	0,20±0,05	менее 0,001	1–12
<i>Lagis koreni</i>	0,20±0,05	0,002±0,001	1–12
<i>Leiochone leiopygos</i>	0,78±0,19	0,003±0,001	1–12
<i>Melinna palmata</i>	65,00±34,00	1,730±0,840	53–76
<i>Mysta picta</i>	0,20±0,05	0,002±0,001	1–12
<i>Nephtys cirrosa</i>	0,20±0,05	менее 0,001	1–12
<i>Nephtys hombergii</i>	4,20±1,70	0,124±0,067	29–53
<i>Perinereis cultrifera</i>	0,20±0,05	0,001±0,001	1–12
<i>Petaloproctus terricolus</i>	0,39±0,27	менее 0,001	4–20
<i>Scolelepis (Parascolelepis) tridentata</i>	0,24±0,06	0,047±0,011	1–12
<i>Spirobranchus triqueter</i>	0,39±0,10	0,002±0,001	1–12
Сумма	79,00±33,00	2,190±0,870	
Ракообразные			
<i>Ampelisca diadema</i>	0,78±0,61	0,001±0,001	4–20
<i>Amphibalanus improvisus</i>	120,00±41,00	4,300±1,600	66–87
<i>Ampithoe ramondi</i>	3,10±2,70	0,002±0,001	4–20
<i>Corophium volutator</i>	0,39±0,10	менее 0,001	1–12
<i>Cymadusa crassicornis</i>	0,20±0,05	менее 0,001	1–12
<i>Diogenes pugilator</i>	0,20±0,05	0,019±0,005	1–12
<i>Erichthonius difformis</i>	0,20±0,05	менее 0,001	1–12
<i>Gammarus subtypicus</i>	0,20±0,05	менее 0,001	1–12
<i>Jassa oca</i>	0,20±0,05	менее 0,001	1–12
<i>Melita palmata</i>	2,20±1,60	0,003±0,002	4–20
<i>Microdeutopus damnoniensis</i>	0,59±0,14	менее 0,001	1–12
<i>Microdeutopus gryllotalpa</i>	0,78±0,61	0,001±0,001	4–20
<i>Rhithropanopeus harrisi</i>	3,10±1,90	2,000±1,300	13–34
<i>Stenosoma capito</i>	0,59±0,14	0,051±0,012	1–12
Сумма	132,00±42,00	6,400±2,300	
Брюхоногие моллюски			
<i>Bittium reticulatum</i>	0,20±0,05	0,002±0,001	1–12
<i>Calyptraea chinensis</i>	0,20±0,05	0,005±0,001	1–12
<i>Hydrobia acuta</i>	0,78±0,61	0,001±0,001	4–20
<i>Retusa truncatula</i>	1,18±0,64	0,036±0,022	13–34
<i>Tritia neritea</i>	0,20±0,05	0,059±0,014	1–12
<i>Tritia pellucida</i>	0,24±0,06	0,028±0,007	1–12

Таблица 1 (продолжение)

<i>Tritia reticulata</i>	0,20±0,05	0,149±0,036	1–12
Сумма	2,98±0,99	0,280±0,160	
Двустворчатые моллюски			
<i>Abra nitida milachewichi</i>	2,60±1,80	0,530±0,380	4–20
<i>Abra segmentum</i>	15,00±14,00	2,300±2,000	8–27
<i>Anadara kagoshimensis</i>	36,00±11,00	320,000±93,000	100
<i>Cerastoderma glaucum</i>	21,60±9,30	23,000±15,000	66–87
<i>Chamelea gallina</i>	3,00±2,50	1,030±0,920	8–27
<i>Gastrana fragilis</i>	0,59±0,14	1,180±0,290	1–12
<i>Lentidium mediterraneum</i>	0,20±0,05	0,009±0,002	1–12
<i>Mya arenaria</i>	2,40±1,60	13,000±12,000	4–20
<i>Mytilaster lineatus</i>	61,00±36,00	21,000±13,000	29–53
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	1,40±1,20	0,230±0,220	4–20
<i>Parvicardium exiguum</i>	2,20±1,30	0,500±0,410	13–34
Сумма	147,00±50,00	380,000±100,000	
Асцидии			
<i>Molgula appendiculata</i>	10,80±6,30	8,400±6,000	18–40
Сумма	10,80±6,30	8,400±6,00	
Общая сумма	380,00±100,00	400,000±100,000	

Плотность видов колебалась от 1 до 24 вид/0,1 м², а в среднем равнялась 8,9±1,2 вид/0,1 м². В видовом богатстве преобладали полихеты и ракообразные, за ними шли двустворчатые моллюски (рис. 3).



Рис. 3. Доля различных таксономических групп в видовом богатстве, численности особей и биомассе биоценоза *Anadara kagoshimensis* в Керченском проливе (1986–2016 гг.)

Численность особей в биоценозе колебалась от 10 до 1320 экз./м², биомасса – от 8 до 1526 г/м². Как по численности, так и по биомассе в биоценозе доминировали двустворчатые моллюски, включая доминантный вид. Их плотность видов в среднем равнялась 3,12±0,31 вид/0,1 м², а их доля в видовом богатстве биоценоза была 22 %. Плотность видов могла достигать до 6 вид/0,1 м². Численность особей колебалась от 10 до 760 экз./м², биомасса от 7,3 до 1491 г/м². На их долю приходилось не менее 7 %, в среднем 34–45 % численности особей и не менее 60 %, в среднем 92–98 % биомассы биоценоза. Важную роль среди двустворчатых моллюсков играл *M. lineatus*. Его доля в общей численности особей была даже выше, чем у доминантного вида 25–88 %. Этот вид был распределен крайне неравномерно. В основном он образовывал щетки или друзы численностью до 48 экземпляров.

На втором месте стояли ракообразные. Встречаемость этой группы – 80–96 %. Плотность видов в среднем равнялась 1,88±0,48 вид/0,1 м². Но могла достигать до 8 вид/0,1 м². На их

долю приходилось 29 % видового богатства биоценоза. Численность особей могла доходить до 520 экз./м², биомасса – до 32 г/м². На их долю в среднем приходилось 28–43 % общей численности особей и 1–2 % общей биомассы биоценоза. Таким образом, по численности особей их можно считать содоминантами двустворчатых моллюсков. Среди ракообразных доминировал морской желудь *A. improvisus*. На его долю в среднем приходилось 80–97 % общей численности особей и 58–77 % общей биомассы ракообразных. Этот вид в качестве субстрата очень часто использует живые и мертвые раковины двустворчатых моллюсков, в том числе и анадары. Высокой биомассой также отличался голландский крабик *R. harrisii*. Однако, этот вид встречался намного реже и имел довольно низкую численность. Она ни разу не превысила 30 экз./м². Его высокая доля в биомассе ракообразных объясняется только крупными размерами самого животного.

Асцидии по биомассе были сопоставимы с ракообразными. Были представлены только одним видом и встречались реже. В целом их численность не была высокой. Однако, в редких случаях могла достигать 100 экз./м².

На третьем месте по численности стояли полихеты. Их встречаемость была 73–92 %. Плотность видов в среднем равнялась 2,41±0,48 вид/0,1 м². В отдельных случаях доходила до 8 вид/0,1 м². Численность могла доходить до 440 экз./м², биомасса – до 12,52 г/м². На их долю в среднем приходилось 17–25 % общей численности особей и 0,3–0,8 % общей биомассы биоценоза. Среди полихет доминировала *M. palmata*. На втором месте стояла *A. succinea*. Высокой численностью и биомассой также отличался *N. hombergii*.

Брюхоногие моллюски встречались достаточно часто (35–59 %). На их долю приходилось 14 % всего видового богатства биоценоза. Однако плотность видов была невысокой, в среднем равнялась 0,65±0,19 вид/0,1 м² и не превышала 2 вид/0,1 м². Численность особей не превышала 14 экз./м², а биомасса – 2,54 г/м². На их долю в среднем приходилось в среднем всего 0,55–1,03 % численности особей и 0,03–0,11 % биомассы биоценоза. Но, не более чем 7 % по численности и 2 % по биомассе. Среди них наиболее часто встречалась *R. truncatula*. На ее долю приходилось 28–51 % численности и 10–16 % биомассы брюхоногих моллюсков.

Книдарии и асцидии также встречались достаточно часто. Но их доля в видовом богатстве была небольшой – всего 6 %. При этом, на их долю в среднем приходилось всего 2,5–4,8 % численности особей и 0,77–3,84 % биомассы биоценоза.

Основная часть видового богатства биоценоза приходилась на полихет, ракообразных и двустворчатых моллюсков. По численности видов доминировали брюхоногие моллюски и ракообразные. Значительная доля видов приходилась на полихет. Биомассу биоценоза в основном определяли двустворчатые моллюски. На долю всех остальных видов приходилось всего 3–6 % биомассы биоценоза.

Руководящие, характерные, редкие и очень редкие виды играли разную роль в видовом богатстве, численности и биомассе биоценоза. На долю доминантного вида приходилось 2 % видового богатства, в среднем 6–13 % численности особей и 75–85 % биомассы биоценоза (рис. 4).

Наиболее низкая доля доминантного вида в общей численности особей биоценоза наблюдалась в его экотоне с широко распространенном в Черном море биоценозом полихеты *M. palmata*. Это была самая заиленная часть биоценоза. При этом, на долю анадары здесь приходилось 37 % общей биомассы, а на долю *M. palmata* всего 1,2 %.

К руководящим видам кроме доминантного относились: морской желудь *A. improvisus*, *C. glaucum* и *M. palmata*. На их долю, без учета доминантного вида, приходилось 6 % видового богатства, 48–63 % общей численности особей и 5–9 % общей биомассы биоценоза. На отдельных участках биоценоза их доля по численности особей доходила до 88 %, а по биомассе до 37 %. Плотность видов в среднем равнялась 2,18±0,25 вид/0,1 м². Средняя численность особей руководящих видов равнялась 207±65 экз./м², при биомассе 29±15 г/м². На отдельных участках она доходила до 940 экз./м², при биомассе 261 г/м². По численности особей доминировал *M. improvisus*. На его долю приходилось 47–69 % общей численности особей руководящих видов. По биомассе доминировала *C. glaucum*. На ее долю в среднем



Рис. 4. Доля доминанта, руководящих, характерных, редких и очень редких видов в видовом богатстве, численности и биомассе особей биоценоза *Anadara kagoshimensis* в Керченском проливе (1986–2016 гг.)

приходилось 64–93 % от общей биомассы постоянных видов и 4–8 % от общей биомассы биоценоза.

К характерным видам относились: *A. equina*, *A. succinea*, *M. appendiculata*, *M. lineatus*, *N. hombergii*, *P. exiguum*, *R. truncatula* и *R. harrisii*. Плотность этих видов в среднем равнялась $2,6 \pm 0,4$ вид/ $0,1\text{ м}^2$, а на отдельных участках доходила до 5 вид/ $0,1\text{ м}^2$. Средняя численность особей в биоценозе равнялась 91 ± 37 экз./ м^2 , при биомассе 33 ± 14 г/ м^2 . На отдельных участках численность доходила до 480 экз./ м^2 , при биомассе 183 г/ м^2 . На долю характерных видов приходилось 16 % видового богатства биоценоза, 19–29 % общей численности особей и 5–12 % биомассы. На отдельных участках биоценоза их доля по численности особей доходила до 47 %, а по биомассе до 36 %. Среди характерных видов доминировал *M. lineatus*. На его долю в среднем приходилось 44–91 % численности особей и 40–86 % биомассы.

На долю редких видов приходилось 45 % видового богатства биоценоза. Плотность этих видов в среднем равнялась $2,24 \pm 0,49$ вид/ $0,1\text{ м}^2$. В редких случаях доходила до 9 вид/ $0,1\text{ м}^2$. Средняя численность особей редких видов равнялась 38 ± 14 экз./ м^2 , при средней биомассе 18 ± 12 г/ м^2 . На отдельных участках их численность доходила до 240 экз./ м^2 , а биомасса до 205 г/ м^2 . На долю редких видов в среднем приходилось 8–13 % численности особей и 2–7 % биомассы биоценоза. В очень редких случаях до 50 и 40 % соответственно.

Очень редко встречались: *B. reticulatum*, *C. chinensis*, *C. crassicornis*, *D. pugilator*, *E. difformis*, *G. subtypicus*, *H. filiformis*, *J. oia*, *L. koreni*, *L. mediterraneum*, *M. picta*, *N. cirrosa*, *P. cultrifera*, *T. neritea* и *T. reticulata*. Их встречаемость в целом была довольно низкой – 18–40 %. Плотность видов в среднем равнялась $0,88 \pm 0,44$ вид/ $0,1\text{ м}^2$, но изредка доходила до 7 вид/ $0,1\text{ м}^2$. Численность особей в среднем равнялась $2,9 \pm 1,5$ экз./ м^2 , а биомасса – $0,25 \pm 0,17$ г/ м^2 . На отдельных участках их численность доходила до 23 экз./ м^2 , при биомассе 2,700 г/ м^2 . На долю этих видов в среднем приходилось 31 % видового богатства, 0,4–1,2 % численности особей и 0,02–0,11 % биомассы биоценоза. При этом, величина этих показателей не превышала значений – 9 % по численности и 2 % по биомассе.

Редкие и очень редкие виды играют небольшую роль в численности особей и особенно в биомассе биоценоза, но очень большую в его видовом богатстве. Главную роль в численности особей играют характерные и добавочные виды. На долю доминантного вида приходится основная часть биомассы биоценоза.

Большая часть (30–56 % от общей площади) биоценоза располагалась на заиленной ракушке, 16–41 % на иле, 10–32% на ракушке и 1–14 % на песке. Уровень развития биоценоза сильно зависел от типа грунта (табл. 2).

Наиболее сильно от типа грунта зависела общая численность особей в биоценозе, численность не доминантных видов, и их доля в общей численности особей зообентоса. Значительное влияние также оказывалось на плотность видов и выровненность видового состава биоценоза. На остальные показатели уровня развития биоценоза значительное влияние оказывали неорганизованные факторы.

Таблица 2

Влияние типа грунта на уровень развития биоценоза *Anadara kagoshimensis* в Керченском проливе (1986–2016 гг.)

Организованный фактор	Влияние фактора (%)	
	Организованного	Не организованного
Плотность видов	22–42	58–78
Численность видов	53–65	35–47
Биомасса	5–22	78–95
Значения индекса полидоминантности Симпсона	8–25	75–92
Доминантный вид:		
Численность	2–19	81–98
Биомасса	3–20	80–97
Недоминантные виды:		
Численность	67–76	24–33
Биомасса	7–24	76–93
Доля недоминантных видов:		
в численности	30–41	59–70
в биомассе	4–19	81–96

Наиболее высоким видовым богатством и плотностью видов отличалась часть биоценоза, лежащая на ракушке, а наиболее низкая на песке (табл. 3).

Таблица 3

Уровень развития биоценоза *Anadara kagoshimensis* на разных грунтах в Керченском проливе (1986–2016 гг.)

Характеристики биоценоза	Тип грунта			
	Песок	Ракуша	Заиленная ракуша	Ил
Общие характеристики биоценоза:				
Видовое богатство	11	29	26	17
Плотность видов, вид/0,1 м ²	4,7±1,0	14,7±4,8	8,3±1,4	7,8±1,1
Численность особей, экз./м ²	100±29	840±250	306±99	124±32
Биомасса, г/м ²	93±42	610±260	460±240	232±96
Индекс полидоминантности Симпсона	4,20±1,00	5,20±2,10	3,19±0,70	3,52±0,41
Доминантный вид:				
Численность, экз.	6,7±4,3	68±37	34±19	38±31
Биомасса, г/м ²	71±32	460±240	400±230	162±43
Недоминантные виды:				
Численность, экз	92±27	770±260	272±94	87±15
Биомасса, г/м ²	23±14	152±64	62±41	71±58
Доля в общей численности, %	86–93	87–96	85–92	57–82
Доля в общей биомассе, %	14–34	10–39	7–19	14–47

На ракушке было обнаружено 59 % всего видового богатства биоценоза анадары, в то время как на песке всего 22 %. Плотность видов на ракушке колебалась от 8 до 24 вид/0,1 м², а на песке не превышала 11 вид/0,1 м². На заиленной ракушке могла достигать до 13 вид/0,1 м², а на иле была не более 10 вид/0,1 м².

Наиболее высокой общей численностью особей отличалась часть биоценоза, лежащая на ракушке. Она колебалась от 343 до 1180 экз./м². На заиленной ракушке численность особей

изменялась от 70 до 700 экз./м². На иле, была ниже и находилась в пределах от 53 до 207 экз./м². На песке не превышала 100 экз./м².

При этом индекс полидоминантности на всех типах грунта был довольно близким по значению. Главную роль в численности особей играло относительно небольшое количество видов. В большей части это относится к участкам, расположенным на иле и заиленной ракуше, в меньшей к участкам, лежащим на ракуше и песке. По классификации А. А. Шорыгина (1955) биоценоз *A. kagoshimensis* следует считать островершинным.

Наиболее высокая биомасса биоценоза наблюдалась на ракуше, где она находилась в пределах от 345 до 1137 г/м². Средняя биомасса биоценоза на заиленной ракуше статистически не отличалась от средней биомассы на ракуше. Биомасса биоценоза здесь колебалась от 8 до 1526 г/м². На иле она изменялась от 70 до 503 г/м², а на песке не превышала 93 г/м².

Наиболее высокой численности и биомассы доминантный вид достигал на ракуше, где его численность колебалась от 10 до 135 экз./м², а биомасса – от 130 до 930 г/м². На заиленной ракуше она была ниже и находилась в пределах от 10 до 127 экз./м², а биомасса колебалась от 7 до 1470 г/м² и статистически не отличалась от средней биомассы на ракуше. Численность анадары на иле статистически не отличалась от ее численности на заиленной ракуше и находилась в пределах от 3 до 130 экз./м². Но биомасса была ниже и находилась в пределах от 61 до 256 г/м². Наиболее низкая численность и биомасса доминантного вида наблюдалась в части биоценоза, лежащей на песке, где она не превышала 7 экз./м² и 71 г/м². На ракуше средний вес особей равнялся 6,7±3,0 г. На заиленной ракуше средний вес особей равнялся 11,8±5,4 г. На иле преобладали мелкие особи, средний вес которых 4,3±2,1 г. На песке преобладали немногочисленные крупные особи со средним весом 10,6±4,8 г.

Наиболее высокая численность особей и биомасса недоминантных видов в биоценозе анадары наблюдалась на ракуше. В среднем по всему биоценозу на долю недоминантных видов приходилось 83–97 % по численности особей и 15–24 % биомассы. При этом, она никогда не превышала 63 % от общей биомассы биоценоза.

В целом наиболее высокого уровня развития этот биоценоз достигает на ракуше, а наименьшего на песке (рис. 5).

Видовое богатство части биоценоза, лежащей на ракуше было в 2,6 раза, плотность видов в среднем составила 2,3–3,9, численность – в 6,1–10,7, а биомасса – в 3,8–9,3 раза выше, чем на песке. Части биоценоза, расположенные на иле и заиленной ракуше, образуют отдельную группу, которая ближе к части, располагающейся на песке. Они слабо различаются по плотности видов. Но при этом видовое богатство на заиленной ракуше в 1,5 раза, численность особей в 1,4–3,5, а биомасса в 1,2–2,7 раза выше, чем на иле.

Видовой состав биоценоза *A. kagoshimensis* на разных грунтах отличается довольно высоким сходством (табл. 4).

Первая располагается на илисто-песчаных грунтах, включающих песок и ил. Вторая часть на ракушечниках, включающих ракушу и заиленную ракушу. Сходство между этими частями по Чекановскому-Сёренсу равнялась 0,46. При этом 67 % видового богатства было общим для обеих частей биоценоза. В первой группе видовое богатство зообентоса почти в 2 раза ниже, чем во второй. Такая разница прежде всего связана с тем, что в видовом богатстве на ракушечниках почти в 2 раза больше полихет и в более чем в 4 раза больше ракообразных.

Биоценоз анадары, расположенный на ракушечниках (ракуша, а также заиленная ракуша) расположен преимущественно к северу от косы Тузла, в основном на месте, ранее существовавшего там биоценоза *S. glaucum*. Этот биоценоз широко распространен в Азовском море (Воробьев, 1949; Экологический атлас..., 2011; Ревков, Болтачева, 2021; Болтачева и др., 2022). Включает 40 видов животных. Плотность видов колеблется от 4 до 24, а в среднем равняется 10,4±2,0 вид/0,1м². Численность особей в биоценозе колебалась от 70 до 1180 экз./м², в среднем равнялась 480±130 экз./м². Его биомасса колебалась от 7,83 до 1525,97 г/м², в среднем равнялась 510±170 г/м². На долю доминантного вида приходилось 7–11 % общей численности особей и 74–90 % общей биомассы биоценоза. На долю ранее

Таблица 4

Уровень сходства биоценоза *Anadara kagoshimensis* на разных грунтах в Керченском проливе (1986–2016 гг.)

Индекс сходства Чекановского-Сёренсена				
Тип грунта	Песок	Ракуша	Заиленная ракуша	Ил
Песок		0,30	0,32	0,50
Ракуша	0,55		0,55	0,39
Заиленная ракуша	0,55	0,58		0,47
Ил	0,64	0,53	0,59	
Индекс сходства Синкевича-Симпсона				

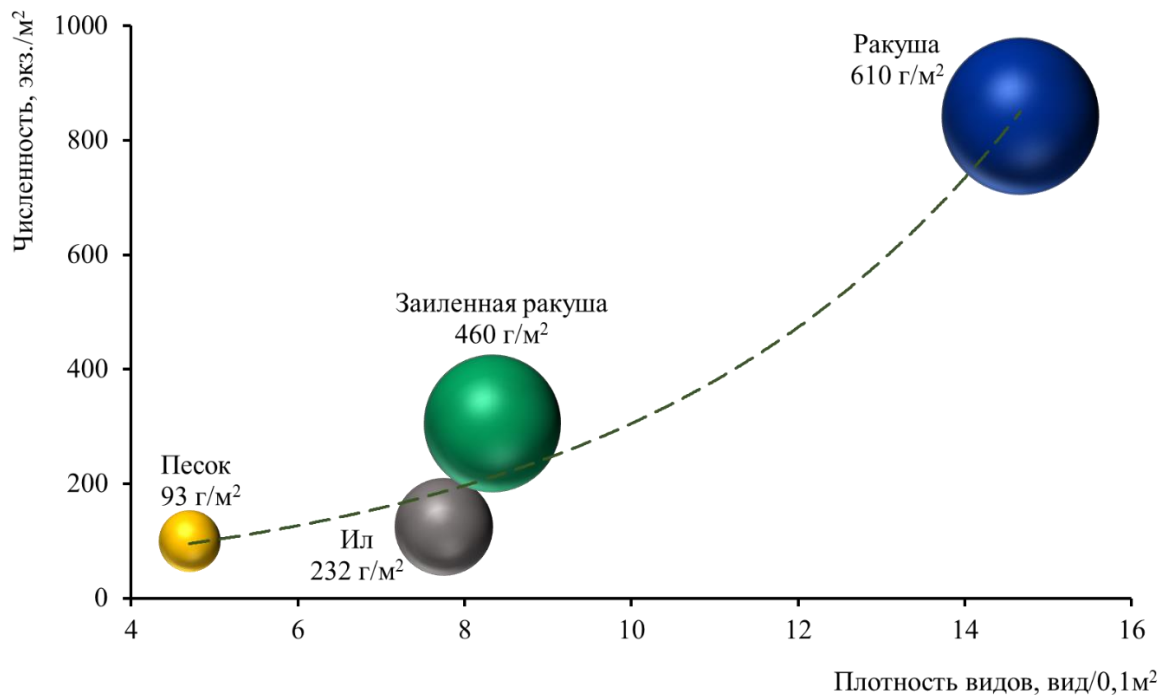


Рис. 5. Зависимость, плотности вида, численности и биомассы особей биоценоза *Anadara kagoshimensis* от типа грунта в Керченском проливе (1986–2016 гг.)

доминировавшей *S. glaucum* соответственно 2–9 и 3–10 %. При этом ее встречаемость была 78–99 %. По сравнению с исходным биоценозом видовое богатство осталось на прежнем уровне. Плотность видов выросла в 2–3 раза. Общая численность особей осталась на прежнем уровне. Биомасса увеличилась в 2–4 раза. Ранее доминировавшая *S. glaucum* уменьшила свою численность в 4–8, а биомассу в 2–5 раза.

В среднем индекс сходства Чекановского-Сёренсена равнялся $0,42 \pm 0,04$, а индекс Синкевича-Симпсона – $0,57 \pm 0,02$. Общими видами для всех типов грунтов кроме доминантного были: *A. improvisus*, *S. glaucum* и *M. palmata*.

В биоценозе по видовому составу выделяются две части (рис. 6). Часть биоценоза, расположенная на песке к югу от косы Тузла, на месте, ранее существовавшего биоценоза *S. gallina*. Этот биоценоз характерен для Черного моря (Киселева, 1977; Revkov, Nikolaenko, 2002; Воробьева, Синегуб, 2014; Revkov и др., 2014; Селифонова, Часовников, 2017) в том числе и в районе Керченского предпроливья Черного моря (Терентьев, 2004). На долю ранее доминировавшего вида приходилось 35–50 % численности особей и 13–23 % биомассы биоценоза. Встречаемость *S. gallina* снизилась до 16–38 %. По сравнению с исходным

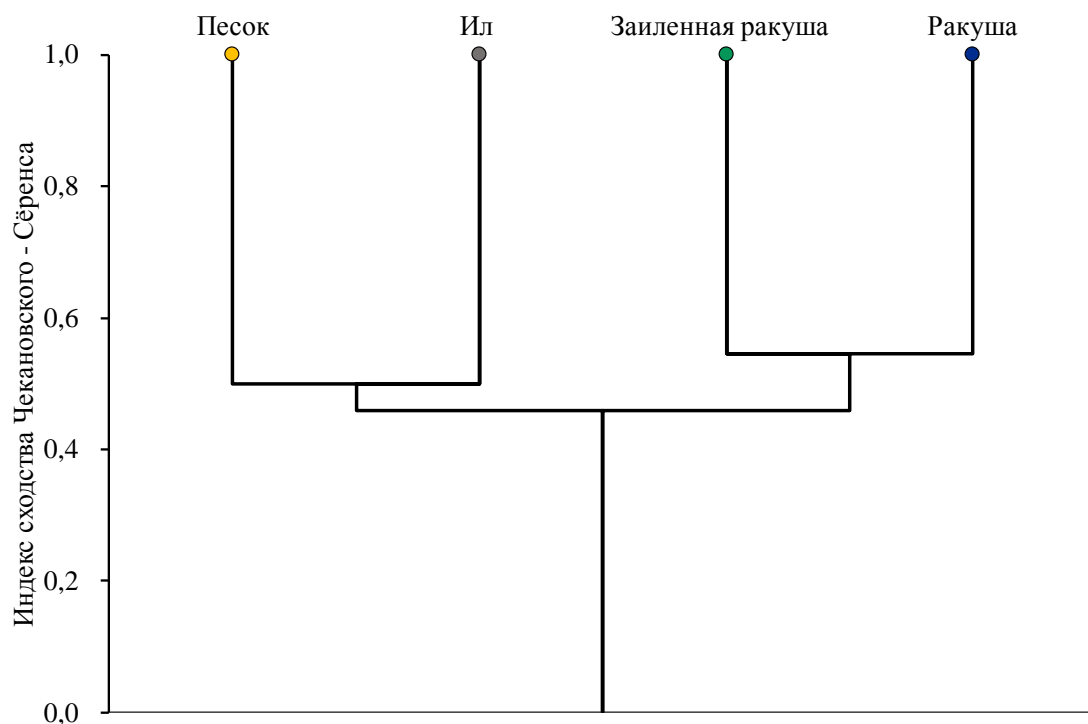


Рис. 6. Дендрограмма сходства по видовому составу биоценоза *Anadara kagoshimensis* на разных грунтах в Керченском проливе (1986–2016 гг.)

биоценозом видовое богатство уменьшилось в 6,5, плотность видов в 1,3–2,1, общая численность особей в 2,7–5,1, а биомасса в 1,7–3,7 раза. Ранее доминировавшая *C. gallina* уменьшила свою численность в 2–3, а биомассу в 7–10 раз.

Часть биоценоза, лежащая на иле, встречается как в северной части пролива, происходит из биоценоза *C. glaucum*, так и в южной и располагается на месте биоценоза *Ch. gallina*.

В случае трансформации биоценоза *C. glaucum* в биоценоз *A. kagoshimensis* видовое богатство уменьшается в 1,2 раза, при этом плотность видов увеличилась в 2,0–2,4 раза. Сходство с исходным биоценозом оказалось довольно значительным ($I_{CS}=0,49$). Причем, 53 % видов было общими для обоих биоценозов. Изменение видового богатства произошло в основном за счет редких и очень редких видов. Снизилась встречаемость *N. hombergii* и напротив увеличилась встречаемость литофильных видов, таких как *A. equina*, *Am. improvisus* и *M. lineatus*. Чаше встречаться стали *M. appendiculata*, *P. exiguum*, *R. truncatula* и *R. harrisii*. Полностью исчезли иглокожие. Хотя их встречаемость в исходном биоценозе не превышала 4 %. В 1,7 раз уменьшилось видовое богатство двустворчатых моллюсков и в 2 раза брюхоногих моллюсков. При этом, в 2,2 раза увеличилось видовое богатство ракообразных, что в целом компенсировало снижение видового богатства других таксономических групп (рис. 7).

Общая численность особей в биоценозе практически не изменилась. При этом, 1,2–2,1 раза уменьшилась численность двустворчатых моллюсков. На первое место по численности особей вышли ракообразные, увеличив ее в 1,5–3,5 раза. Общая биомасса увеличилась в 1,9–4,5 раза. Ее увеличение прежде всего связано с тем, что доминантным видом стал более крупный и массивный моллюск, чья биомасса в 2,0–5,3 раза превосходила биомассу *C. glaucum* в исходном биоценозе. Численность ранее доминировавшего вида уменьшилась в 3,4–8,9, а его биомасса в 1,4–5,3 раза. При этом, *C. glaucum* продолжает оставаться руководящим видом, ее встречаемость – 78–99 %.

В случае трансформации биоценоза *C. gallina* в биоценоз *A. kagoshimensis* видовое богатство уменьшается в 3,6 раза, при этом плотность видов осталась на прежнем уровне.

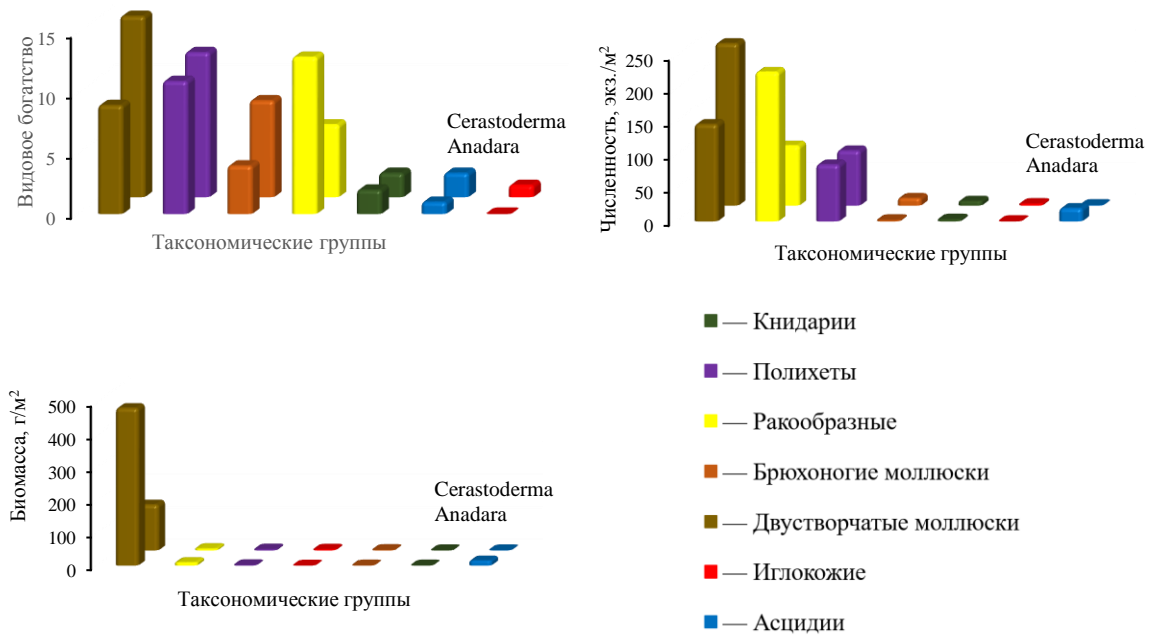


Рис. 7. Динамика видового богатства, численности и биомассы особей при трансформации биоценоза *Cerastoderma glaucum* в биоценоз *Anadara kagoshimensis* в Керченском проливе (1986–2016 гг.)

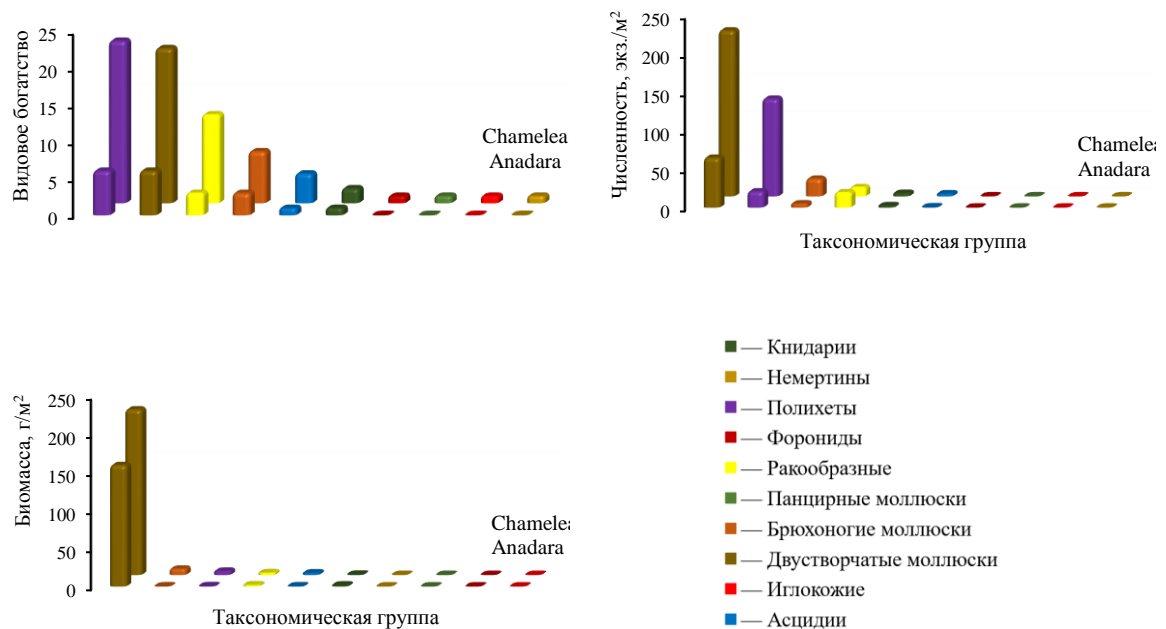


Рис. 8. Динамика видового богатства, численности особей и биомассы при трансформации биоценоза *Chamelea gallina* в биоценоз *Anadara kagoshimensis* в Керченском проливе (1986–2016 гг.)

Сходство с исходным биоценозом оказалось невысоким ($I_{cs}=0,37$). Причем, 85 % видов было общими для обоих биоценозов, то есть разница в сходстве видового богатства объясняется прежде всего его сокращением. Из видового богатства практически полностью исчезли форонида, панцирные моллюски, иглокожие и крупные виды немертин (рис. 8).

Из 4 видов асцидий продолжала встречаться только *M. appendiculata*. В 4,0 раза сокращается видовое богатство ракообразных, в 3,7 – полихет, в 3,5 – двустворчатых моллюсков и в 2,3 раза – брюхоногих моллюсков. Общая численность особей биоценоза уменьшилась в 2,6–4,2 раза. Численность полихет сократилась в 3,9–8,1 раз, брюхоногих моллюсков – в 2,4–6,3 раза. Двустворчатые моллюски продолжают доминировать, но их численность уменьшилась в 2,2–4,5 раза. Общая биомасса снизилась в 1,2–1,7 раза. Наиболее большие потери в биомассе понесли брюхоногие моллюски. Их биомасса сократилась в 78–163 раза. Биомасса полихет уменьшилась в 5,5–16 раз. Биомасса двустворчатых моллюсков уменьшилась в 1,1–1,6 раза. При трансформации биоценоза *C. gallina* в биоценоз *A. kagoshimensis* ранее доминировавший вид практически исчезает из биоценоза. Встречаются только его разрозненные единичные особи.

При образовании биоценоза *A. kagoshimensis* на месте биоценоза *C. glaucum* статистически значимых изменений численности и биомассы недоминантных видов не произошло. В то время как при его формировании на месте биоценоза *C. gallina* численность недоминантных видов сократилась в 2,0–4,1, а их биомасса – в 3,0–7,9 раза. В первом случае произошло внедрение вселенца в ранее существующий биоценоз. Во втором, образование нового биоценоза сопровождалось разрушением предшествующего.

При образовании биоценоза *A. kagoshimensis* на наиболее заиленных участках как в северной, так и в южной частях пролива наблюдается значительное уменьшение численности особей зообентоса. При этом, снижение биомассы исходных биоценозов компенсируется биомассой нового доминантного вида.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Биоценоз *Anadara kagoshimensis* в Керченском проливе образовался на месте биоценозов *Cerastoderma glaucum* и *Chamelea gallina*. В его составе насчитывается 49 видов животных. Плотность видов колеблется от 1 до 24 и в среднем равняется $8,9 \pm 1,2$ вид/0,1 м². В видовом богатстве преобладают ракообразные. Численность особей находится в пределах от 10 до 1320, в среднем – 380 ± 100 экз./м². Доминируют по численности особей двустворчатые моллюски совместно с ракообразными. Биомасса изменяется от 8 до 1526, в среднем – 400 ± 100 г/м². По биомассе доминируют двустворчатые моллюски. На долю доминантного вида в среднем приходится 6–13 % численности видов и 75–85 % биомассы биоценоза. Наиболее высокого уровня развития этот биоценоз достигает на ракуше, а наиболее низкого на песке. При трансформации биоценоза *C. glaucum* видовое богатство уменьшилось в 1,2 раза, при этом плотность видов увеличилась в 2,0–2,4 раза, общая численность особей в биоценозе осталась на прежнем уровне, общая биомасса, за счет биомассы анадары, увеличилась в 1,9–4,5 раза. При трансформации биоценоза *C. gallina* видовое богатство уменьшилось в 3,6 раза, плотность видов практически не изменилась, общая численность уменьшилась в 2,6–4,2 раза, общая биомасса – в 1,2–1,7 раза. При образовании биоценоза анадары на месте биоценоза *C. glaucum* произошло внедрение вселенца в ранее существовавшее сообщество, в котором он занял лидирующее место. В то время как его образование на месте биоценоза *C. gallina* сопровождалось существенной перестройкой предшествующего сообщества.

Список литературы

Болтачева Н. А., Ревков Н. К., Надольный А. А., Аннинская И. Н. Донная фауна юго-западной части Азовского моря. Таксономический состав и биоценотическая организация макрозообентоса в 2016–2017 гг. // Морской биологический журнал. – 2022 – Т. 1, № 2. – С. 3–22.

- Броцкая В. А., Зенкевич Л. А. Количественный учет донной фауны Баренцева моря // Труды ВНИРО. – 1939. – Т. IV. – С. 5–126.
- Воробьев В. П. Бентос Азовского моря // Труды АзЧерНИРО. – 1949. – Вып. 13. – 193 с.
- Воробьева Л. В., Синегуб И. А. Зообентос биоценозов Одесского морского региона Черного моря // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2014. – Вып. 11. – С. 198–206.
- Жадин В. И. Методы гидробиологических исследований. – М.: Высшая школа, 1960. – 191 с.
- Живоглядова Л. А., Ревков Н. К., Фроленко Л. Н., Афанасьев Д. Ф. Экспансия двустворчатого моллюска *Anadara kagoshimensis* (Tokunada, 1906) в Азовском море // Российский журнал биологических инвазий. – 2021. – №1. – С. 83–94.
- Киселева М. И. Структура биоценоза *Venus gallina* в Черном море // Биология моря. Вопросы гидробиологии Черноморского шельфа. – 1977. – Вып. 43. – С. 85–93.
- Киселева М. И. Сравнительная характеристика донных сообществ у побережья Кавказа // Многолетние изменения зообентоса Чёрного моря / [Ред. В. Е. Заика]. – Киев: Наукова думка, 1992. – С. 84–99.
- Лейбсон Р. Г. Количественный учет донной фауны Мотовского залива // Труды ВНИРО. – 1939. – Т. IV. – С. 127–198.
- Любищев А. А. Дисперсионный анализ в биологии. – Москва: МГУ, 1986. – 200 с.
- Определитель фауны Черного и Азовского морей. Т. 1. Свободноживущие беспозвоночные. Простейшие, губки, кишечнорастворимые, черви, щупальцевые. – Киев: Наукова думка, 1968. – 437 с.
- Определитель фауны Черного и Азовского морей. Т. 2. Свободноживущие беспозвоночные. Ракообразные. – Киев: Наукова думка, 1969. – 536 с.
- Определитель фауны Черного и Азовского морей. Т. 3. Свободноживущие беспозвоночные. Членистоногие (кроме ракообразных), моллюски, иглокожие, щетинкочелюстные, хордовые. – Киев: Наукова думка, 1972. – 340 с.
- Песенко Ю. А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. – Москва: Наука, 1982. – 287 с.
- Ревков Н. К., Тимофеев В. А., Лисицкая Е. В. Состав и сезонная динамика макрозообентоса локального биотического комплекса *Chamelea gallina* (западный Крым, Черное море) // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – Вып. 11. – 2014. – С. 247–259.
- Ревков Н. К. Особенности колонизации Чёрного моря недавним вселенцем – двустворчатым моллюском *Anadara inaequalis* (Bivalvia: Arcidae) // Морской биологический журнал. – Т. 1, № 2. – 2016. – С. 3–17.
- Ревков Н. К., Болтачева Н. А. Донная фауна юго-западной части Азовского моря: трансформация биоценоза макрозообентоса в начале XXI века // Экосистемы. – Вып. 26 (56). – 2021. – С. 51–66.
- Розенберг Г. С. Несколько слов об индексе разнообразия Симпсона // Самарская Лука. – Т. 16, № 3 (21). – 2007. – С. 581–584.
- Селифонова Ж. П., Часовников В. К. Экологическое состояние зообентоса прикавказской зоны Черного моря (район Джугба – Хоста) // Система контроля окружающей среды. – Вып. 10 (30). – 2017. – С. 109–118.
- Терентьев А. С. Биоценоз *Chamelea gallina* в Керченском предпроливье Черного моря. Основные результаты комплексных исследований ЮгНИРО в Азово-Черноморском бассейне и миовом океане // Труды ЮгНИРО. – Т. 45. – 2004. – С. 34–39.
- Терентьев А. С. Макрозообентос юго-западной части Азовского моря в условиях эксплуатации газоконденсатных месторождений // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зоны и комплексное использование ресурсов шельфа: Сборник научных трудов. – 2009. – Вып. 17. – С. 327–348.
- Фомичёва А. И., Фроленко Л. Н. Состояние биоценоза моллюска-вселенца *Cunearca cornea* (*Scapharca inaequalis*) в Азовском море // Эколого-биологические проблемы вод и биоресурсов: пути решения / Сборник научных трудов Всероссийской конференции. Ульяновск, 2007. – С. 2003–2004.
- Фроленко Л. Н., Мальцева О. С. О сообществе *Anadara* в Азовском море // Актуальные рыбохозяйственные и экологические проблемы Азово-Черноморского региона / Материалы IX международной научно-практической конференции. Керчь. 6 октября 2017. – 2017. – С. 99–103.
- Шорыгин А. А. О биоценозах // Бюллетень МОИП. Отдел биологический. – Т. 60, вып. 6. – 1955. – С. 87–98.
- Экологический атлас Азовского моря / [Гл. ред. акад. Г. Г. Матишов; отв. ред. Н. И. Голубева, В. В. Сорокина]. – Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2011. – 328 с.
- Balogh J. Lebensgemeinschaften der Landtiere. – Berlin, 1958. – 560 p.
- Bodenheimer F. S. Precisd'ecologieanimal. – Paris, 1955. – 315 p.
- Wesselingh F. P., Neubauer T. A., Anistratenko V. V., Vinarski M. V., Yanina T., ter Poorten J. J., Kijashko P., Albrecht C., Anistratenko O. Yu., D'Hont A., Frolov P., Gándara A. M., Gittenberger A., Gogaladze A., Karpinsky M., Lattuada M., Popa L., Sands A. F., van de Velde S., Vandendorpe J., Wilke T. Mollusc species from the Pontocaspian region – an expert opinion list // ZooKeys 827. – 2019. – P. 31–124.
- Hurlbert S. H. The nonconcept of species diversity: A critique and alternative parameters // Ecology. – 1971. – Vol. 52, N 4– P. 577–586.
- Krapal A.-M., Popa O. P., Levarda A. F., Iorgu E. I., Costache M., Crocetta F., Popa L. O. Molecular confirmation on the presence of *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) (Mollusca: Bivalvia: Arcidae) in the Black Sea. Travaux du Museum National d'Histoire Naturelle “Grigore Antipa”. – 2014. – Vol. 57, N 1.– P. 9–12.
- Pilombo F. B. Phylogenetic analysis of the Balanidae (Cirripedia, Ballanomorpha) // Zoologica Scripta. – 2004. – Vol. 33, N 3.– P. 261–276.

Revkov N. K., Nikolaenko T. V. Biodiversity of Zoobenthos in the Coastal Zone of South Coast of Crimea (Laspi Bay Area) // Russian Journal of Marine Biology. – 2002. – Vol. 28, N 3. – P. 151–162.

Simpson E. H. Measurement of diversity // Nature. – Vol. 163, N 688. – 1949. – 688 p.

Terentijev A. S., Litvinenko N.M. Biocenosis of intruders *Mya arenaria* and *Cunearca cornea* (Scapharca) in the north-western Azov Sea. // The Black Sea ecological problems / International symposium "Black Sea Strategic Action Plan Implementations (1996-2000)". – Odessa. SCSEIO, 2000. – P. 315–317.

World Register of Marine Species (WoRMS). URL: (дата обращения 28.12.2022).

Zaitzev Yu., Mamaev V. Biodiversity in the Black Sea: A study of Change and Decline. New York: United Nations Publications. – 1997. – 208 p.

Terentev A. S. Biocenosis of the ark clam *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) in the Kerch Strait (Azov and Black Sea Basin) // Ekosistemy. 2023. Iss. 36. P. 87–101.

A bivalve mollusk *Anadara kagoshimensis* is a recent invasive species in the Azov and Black Sea Basin, originating from the temperate waters of the Pacific Ocean. It has become one of the dominant species in the Kerch Strait. The biocenosis includes 49 species of animals. The density of species varies from 1 to 24 and averages 8.9 ± 1.2 species/0.1 m². Crustaceans predominate in terms of species richness. The population ranges from 10 to 1320 individuals, with 80 ± 100 ind./m² on average. Bivalve mollusks, together with crustaceans, play a key role in the population density of the biocenosis. The biomass varies from 8 to 1526, with an average of 400 ± 100 g/m². Bivalve mollusks dominate in biomass. The dominant species, on average, is responsible for 6–13 % of the total abundance and 75–85 % of the total biomass. The highest development level is reached on shelly substrates and the lowest one is observed on sandy substrates. In general, the species composition of the biocenosis on different substrates is quite similar. The most pronounced difference in the species richness is recorded for the parts of the biocenosis residing on sandy and shelly bottoms. By 2016, the biocenosis had expanded over the entire northern area of the Strait; however, it did not spread into the Black Sea. It was formed in the place of *Cerastoderma glaucum* and *Chamelea gallina* biocenosis, characteristic to the Black and Azov Seas. During the transformation of *C. glaucum* biocenosis, the species richness decreased by 1.2 times, while its density increased by 2.0–2.4 times. Total abundance of the biocenosis remained stable. The total biomass increased by 1.9–4.5 times due to the biomass of *Anadara kagoshimensis*. The transformation of *Ch. gallina* biocenosis has resulted in the decrease in the species richness by 3.6 times. Its species density remained virtually unchanged. The total abundance decreased by 2.6–4.2 times, and the total biomass declined by 1.2–1.7 times. The formation of *An. kagoshimensis* biocenosis in place of *C. glaucum* biocenosis resulted in the introduction of the invasive species into the pre-existing community, where it took a dominant position. Meanwhile, its formation in the place of the *Ch. gallina* biocenosis was accompanied by the destruction of the previous community.

Key words: *Anadara kagoshimensis*, Kerch Strait, Azov and Black Sea basin, biocenosis, zoobenthos, succession.

Поступила в редакцию 14.01.23

Принята к печати 22.09.23

УДК 581.526.53+912.43

DOI 10.5281/zenodo.10376306

Пространственная структура растительных сообществ горной лесостепи Хакасии на примере модельного полигона «Хребет Пистаг»

Ларионов А. В.

*Хакасский государственный университет имени Н. Ф. Катанова
Республика Хакасия, Абакан
Larionovalexey000@yandex.ru*

Статья посвящена особенностям пространственной организации растительности на границе восточных отрогов Кузнецкого Алатау и Южно-Минусинской котловины. При классификации было выделено 11 ассоциаций растительных сообществ. С помощью ДСА-ординации выявлены ведущие экологические факторы: количество осадков, каменистость субстрата, высота над уровнем моря. На основе проведенной классификации и градиентного анализа описаны экологические ряды растительных сообществ, представляющие основные закономерности растительных сообществ при изменении факторов влажности-абсолютной высоты от луговых перистоковыльных степей и листовенных гемибореальных лесов у подножий склонов на выровненных участках, до криофитных тундростепей и петрофитных степей с ледниковыми реликтами в верхних, наиболее холодных частях хребта. С использованием космических снимков Sentinel-2 и Ресурс-П созданы картографические модели верхней части лесостепного пояса на ключевом полигоне «Хребет Пистаг». Первая модель отражает основные сочетания растительных сообществ в ранге фитоценозов, а вторая – показывает особенности организации микрокомбинаций отдельных фитоценозов на уровне ассоциаций. Разработанные модели демонстрируют закономерности пространственной организации растительности верхней части лесостепного пояса Кузнецкого Алатау и могут использоваться для оценки биотопов редких ассоциаций и отдельных Краснокнижных видов растений Хакасии.

Ключевые слова: фитоценология, классификация растительности, крупномасштабное картографирование, ординация, фиторазнообразие, Кузнецкий Алатау.

ВВЕДЕНИЕ

Горная лесостепь Хакасии формировалась под действием разнообразных экологических факторов, ключевую роль среди которых сыграли особенности рельефа и климата. Это обусловило значительное разнообразие флоры и растительности этого зонального типа. Большой интерес представляют участки горной лесостепи, расположенные на границе Южно-Минусинской котловины и восточных отрогов Кузнецкого Алатау. Здесь исторически растительные сообщества эволюционировали в тесной связи с крио-аридными палеоусловиями периодов горного оледенения в Плейстоцене. В последствии характерные для региона температурные инверсии на дне Минусинской котловины обусловили сохранение в современных степных сообществах высокогорных альпийских видов и формирование специфических ассоциаций с участием перигляциальных и гляциальных реликтов. Впервые степные сообщества с криофитами Хакасии были отмечены В. В. Ревердатто (1934), а позднее описаны в работах К. А. Соболевской (1946), И. М. Красноборова (1986), А. Ю. Королюка и Н. И. Макуниной (1998). Из этих сообществ наиболее редкими являются тундростепи, фитоценологические и экологические особенности которых были описаны в отдельных источниках, но при этом их пространственная организация практически не изучена (Красноборов, 1986; Зеленая книга Сибири, 1996; Макунина, 2006; Ermakov et al., 2014; Ларионов и др., 2015).

Кроме разнообразной петрофитной растительности, в предгорьях Кузнецкого Алатау распространены зональные луговые евросибирские степи, в то время как на других территориях эти сообщества значительно пострадали от распашки. На территории хребта Пистаг, являющегося ООПТ в статусе Природного парка, отмечаются лишь небольшие участки с антропогенным воздействием в виде грунтовых дорог и ограниченных сенокосов.

На данный момент созданы геоботанические карты как для всей Хакасии, так и для некоторых ее районов. Среднемасштабная «Карта растительности Хакасской автономной области», а также серия крупномасштабных карт растительности районов Республики разработана в рукописном виде А. В. Куминовой с соавторами в 1972 году. Крупномасштабное картографирование восстановления нарушенных степных фитоценозов в южной части Минусинской котловины выполнено В. Г. Волковой (1983). Благодаря широкому распространению технологии геоинформационных систем (ГИС) и технологии компьютерного моделирования появились картографические модели отдельных территорий Хакасии (Макунина, Игай, 2011; Ермаков и др., 2013; Ермаков, Полякова, 2019). Однако информации о пространственной организации растительности лесостепного пояса Кузнецкого Алатау мало. При этом данная территория обладает уникальным фитоценотическим разнообразием из-за чего изучение пространственной структуры растительного покрова с использованием спутниковых снимков может быть использовано для сохранения, рационального использования и мониторинга состояния биологических ресурсов региона.

Цель исследования – изучить закономерности пространственной организации разнообразия и составить крупномасштабную картографическую модель естественной растительности лесостепного пояса ключевого полигона на горном хребте Пистаг с использованием данных дистанционного зондирования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось на территории Аскизского района Республики Хакасия. Было использовано 135 полных геоботанических описаний, собранных в ходе полевых работ в 2011–2022 годы. Описания выполнены по стандартной методике, на площадках 100 м² для травяных сообществ и 200 м² для лесных (Полевая геоботаника, 1964, 1972). Из геоботанических описаний создана база данных на основе TURBO(VEG) (Hennekens, 1996). Классификация проведена методом Браун-Бланке (Westhoff, van der Maarel, 1973; Theurillat et al., 2020) с использованием JUICE 7.0 (Tichy, 2002). Для оценки флористического сходства растительных сообществ использован кластерный анализ, реализованный в пакете Statistica 7. Таксономия растений приведена в соответствии со сводкой С. К. Черепанова (1995).

Определение ведущих экологических факторов, обуславливающих разнообразие и пространственную организацию растительности выполнено на основе DCA (Detrended Correspondence Analysis) в пакете DECORANA (Hill, 1979). Для выявления ведущих факторов использовались климатические данные WorldClim (Fick, Hijmans, 2017), и особенности видового состава ценофлор с учетом спектров экологических групп растений по влажности и петрофитности субстрата.

Изучение пространственной организации растительности ключевого полигона осуществлено с использованием многоспектральных снимков, полученных со спутников Sentinel-2 (разрешение – 10 м) и Ресурс-П (разрешение – 4 м). Для дешифрирования снимков использовалась программа ЕССА, построение картосхем проведено в QGIS 3.32.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Географическое положение и природные условия восточных отрогов Кузнецкого Алатау. Модельный полигон «Хребет Пистаг» (рис. 1) является частью восточных отрогов Кузнецкого Алатау, вдающихся в Южно-Минусинскую котловину. Рельеф среднегорный, абсолютные высоты достигают 1062 м. Подножья склонов имеют небольшую крутизну, которая постепенно увеличивается до 30–40°. Вершина горного хребта состоит из небольших выровненных участков, покрытых дрсвой (Растительный покров..., 1976).

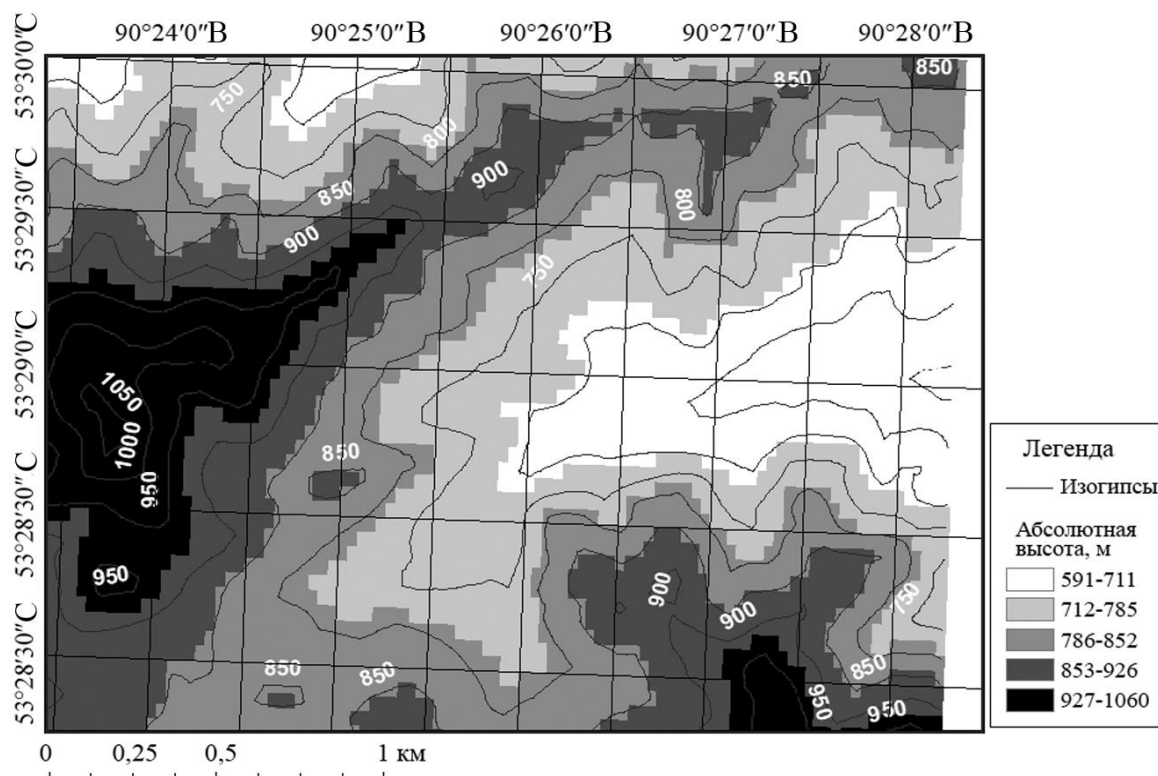


Рис. 1. Картограмма ключевого полигона исследования
 Построена по данным Shuttle radar topographic mission (SRTM)
 (изогипсы проведены через каждые 30 м).

Климат резко континентальный с холодной зимой и жарким летом. Средняя температура января составляет -19°C , а июля $+17^{\circ}\text{C}$. Среднегодовое количество осадков больше, чем в котловинной части, около 500 мм. Верхние части склонов характеризуются более холодными условиями и ветром, что приводит к сдуванию снега и промерзанию почвы (Растительный покров..., 1976; Поликарпов и др., 1986; Fick, Hijmans, 2017).

Почвы развиты слабо и представлены в основном малогумусными, маломощными карбонатными разновидностями каштановых почв и южных черноземов, многие участки не имеют сформированного почвенного покрова и характеризуются неглубоким залеганием и выходами материнской породы (Градобоев, 1954).

Результаты классификации. В результате проведенной классификации растительности ключевого полигона методом Браун-Бланке было выявлено четыре класса: *Rhytidio rugosi-Laricetea sibiricae* K. Korotkov et Ermakov 1999 (светлохвойные гемибореальные леса Южной, Восточной Сибири и Монголии), *Cleistogenetea squarrosae* Mirkin et al. ex Korotkov 1991 (восточносибирские и центральноазиатские степи), *Festuco-Brometea* Br.-Bl. et Tx. ex Soo 1947 (степи европейско-сибирского типа) и *Sedo-Scleranthenea* Dengler 2003 (евразийские сообщества суккулентов), а также 11 ассоциаций.

Продромус растительности

- Класс *Rhytidio rugosi-Laricetea sibiricae* K. Korotkov et Ermakov 1999
- Порядок *Carici pediformis-Laricetalia sibiricae* Ermakov in Ermakov et al. 1991
- Союз *Cotoneastero melanocarpi-Laricion sibiricae* Ermakov 2000
- Ассоциация *Primulo cortusoides-Laricetum sibiricae* Ermakov 2000
- Класс *Festuco-Brometea* Br.-Bl. Et Tx. Ex Soo 1947
- Порядок *Stipetalia sibiricae* Arbuzova et Zhitlukhina ex Korolyuk et Makunina 2001

- Союз *Aconito barbati-Poion transbaicalicae* Korolyuk et Makunina 2001
Ассоциация *Vupleuro multinervi-Helictotrichetum desertori* Makunina in Korolyuk et Makunina 2001
Ассоциация *Dracocephalo ruyschiana-Rosetum acicularis* ass prov.
Союз *Veronico incanae-Helictotrichion desertori* Korolyuk 2010
Подсоюз *Veronico incanae-Helictotrichenion desertori* Korolyuk et Makunina 2006
Ассоциация *Artemisio glaucae-Caricetum pediformis* Makunina 2006
Подсоюз *Youngio tenuifoliae-Helictotrichenion desertori* Korolyuk et Makunina 2006
Ассоциация *Youngio tenuifoliae-Helictotrichetum desertori* Makunina 2006
Класс *Cleistogenetea squarrosae* Mirkin et al., 1992
Порядок *Festucetalia lenensis* Mirkin in Gogoleva et al. 1987
Подпорядок *Festuco valesiaca-Caricenalia pediformis* Ermakov, Larionov et Polyakova 2012
Союз *Festuco valesiaca-Caricion pediformis* Ermakov, Larionov et Polyakova 2012
Ассоциация *Thalictro foetidi-Festucetum valesiaca* Makunina 2006
Ассоциация *Pulsatillo turczaninovii-Caricetum pediformis* Makunina, Maltseva et Parshutina 2007
Союз *Eritrichio pectinati-Selaginellion sanguinolentae* Ermakov, Chytry et Valachovič 2006
Подсоюз *Kitagawio baicalensis-Caricenion pediformis* Korolyuk et Makunina in Makunina 2006
Ассоциация *Youngio tenuifoliae-Agropyretum cristati* Makunina 2006
Подсоюз *Kobresio filifoliae-Caricenion pediformis* Larionov, Ermakov et Polyakova 2015
Ассоциация *Androsaco dasyphyllae-Caricetum pediformis* Korolyuk et Makunina 1998
Ассоциация *Dryado oxyodontae-Festucetum valesiaca* Larionov, Ermakov et Polyakova 2015
Класс *Sedo-Scleranthenea* Dengler 2003
Союз *Sedion hybridi* Ermakov, Chytry et Valachovič 2006
Ассоциация *Kitagawio baicalensis-Sedetum hybridi* Ermakov, Chytry et Valachovič 2006

Результаты ординации. Проведенная ординация 135 геоботанических описаний позволила выявить главные экологические факторы, определяющие разнообразие растительности и ее пространственную организацию. Вдоль осей ординации (рис. 2) наблюдается распределение сообществ, формирующих экологические ряды, в соответствии с изменением ведущих экологических факторов: количества осадков, каменистости субстрата и высоты над уровнем моря.

Вдоль первой оси проявляется экологический ряд замещения сообществ от горных тундростепей верхней части лесостепного пояса ассоциаций *Dryado-Festucetum*, занимающих крайне левое положение на оси 1, до ксеромезофитных кустарниковых степей *Dracocephalo-Rosetum* и светлохвойных гемибореальных лесов *Primulo-Laricetum* в крайнем правом положении. В центре оси расположены последовательно сменяющие друг друга степные сообщества ассоциаций *Androsaco-Caricetum*, *Youngio-Agropyretum*, *Artemisio-Caricetum*, *Thalictro-Festucetum*. Данный ряд соответствует взаимосвязанным факторам уменьшения абсолютной высоты места произрастания сообществ, каменистости субстрата и повышения температуры. Это индицируется уменьшением в сообществах вдоль оси 1 слева направо количества петрофитов и ксерофитов, а также увеличением мезоксерофитов и ксеромезофитов.

Эта последовательность соответствует замещению вдоль оси 1 двух крупных эколого-географических групп степной растительности: левое положение занимают восточносибирские степи класса *Cleistogenetea squarrosae* (значения $-1,5-0,8$), а правую часть ($0,8-3,0$) занимают западно-палеарктические луговые степи класса *Festuco-Brometea* и гемибореальные остепненные леса Алтае-Саянской горной области класса *Rhytidio rugosi-Laricetea sibiricae*.

Крайнее левое положение на первой оси занимают криофитные высокогорные степи *Dryado-Festucetum* ($-1,5-0,5$), распространенные на вершинах горного хребта и

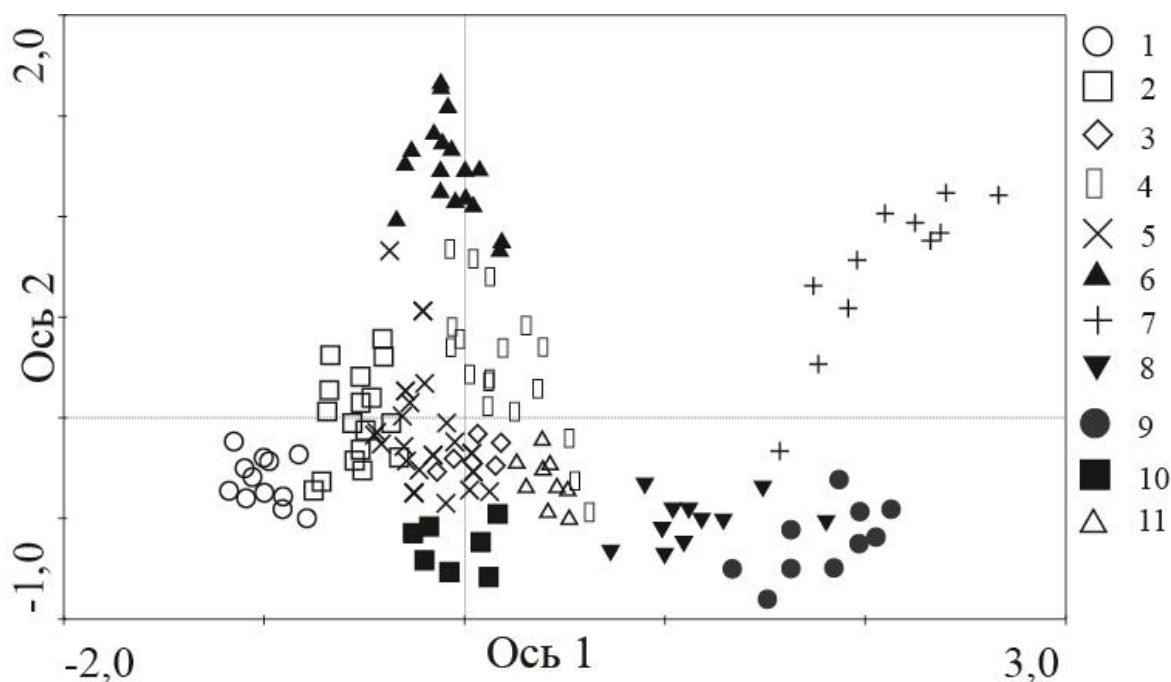


Рис. 2. Распределение растительных сообществ ключевого участка «Хребет Пистаг» на осях 1, 2 DCA ординации

1 – асс. *Dryado oxyodontae-Festucetum valesiacaе*; 2 – асс. *Androsaco dasyphyllae-Caricetum pediformis*; 3 – асс. *Kitagawio baicalensis-Sedetum hybridi*; 4 – асс. *Artemisio glaucae-Caricetum pediformis*; 5 – асс. *Youngio tenuifoliae-Agropyretum cristati*; 6 – асс. *Thalictro foetidi-Festucetum valesiacaе*; 7 – асс. *Dracocephalo ruyschianaе-Rosetum acicularis*; 8 – асс. *Bupleuro multinervi-Helictotrichetum desertori*; 9 – асс. *Primulo cortusoides-Laricetum sibiricaе*; 10 – асс. *Youngio tenuifoliae-Helictotrichetum desertori*, 11 – асс. *Pulsatillo turczaninovii-Caricetum pediformis*.

демонстрирующие сходство с высокогорными сухими лугами класса *Carici rupestris-Kobresietea bellardii* Ohba 1974. На более низких абсолютных высотах они замещаются на петрофитные степи с криофитами – асс. *Androsaco-Caricetum* (–0,8––0,2) и на петрофитные мелкодерновинные степи – асс. *Youngio-Agropyretum* (–0,5–0,2). Центральное положение на оси 1 (–0,5–0,8) занимают непетрофитные мелкодерновинные овсецовые (асс. *Thalictro-Festucetum*) и крупнодерновинные ковыльные (асс. *Artemisio-Caricetum*) степи. В правой части оси (0,8–3,0) расположены непетрофитные луговые перистоковыльные степи – асс. *Bupleuro-Helictotrichetum* (0,8–1,2), кустарниковые степи – асс. *Dracocephalo-Rosetum* и остепненные лиственнично-березовые леса асс. *Primulo-Laricetum*.

Подобное распределение является уникальной особенностью лесостепного пояса предгорий Кузнецкого Алатау и отражает историю его формирования в сухих и холодных условиях оледенений Плейстоцена. Связь с этими палеогеографическими условиями демонстрируется значительным участием высокогорных видов, перигляциальных и гляциальных реликтов (*Dryas oxyodonta*, *Saussurea schanginiana*, *Minuartia verna*, *Scorzonera radiata* и др.) в составе горных степей восточносибирско-центральноазиатского типа (класс *Cleistogenetea squarrosae*, ассоциации *Androsaco dasyphyllae-Caricetum pediformis*, *Dryado oxyodontae-Festucetum valesiacaе*). Кроме того, слабое развитие почвы и выходы горных пород способствуют развитию микрокомбинаций петрофитных сообществ (злаково-разнотравных петрофитных степей *Youngio-Agropyretum* и злаково-осоково-разнотравных степей *Androsaco-Caricetum*). В отличие от восточносибирских степей, степные сообщества другого географического типа – евросибирского (класс *Festuco-Brometea*) занимают преимущественно затененные северные склоны с более влажными и развитыми почвами. Они

непосредственно контактируют с расположенными рядом остепненными листовеннично-березовыми гемибореальными лесами.

Ось 2 интерпретируется в основном как комплексный градиент факторов увлажнения и каменистости субстрата. На ней отражены два экологических ряда сообществ. Первый отражает распределение непетрофитных сообществ по фактору увлажнения местообитаний. Крайнее нижнее положение на оси 2 занимают наиболее влаголюбивые ксеромезофитные степи *Vupleuro-Helictotrichetum* и леса *Primulo-Laricetum* (-1-0,5), распространенные преимущественно по вогнутым частям склонов северных экспозиций и их подножьям с хорошо развитыми почвами. Выше по оси 2 в диапазоне значений 0,0-1,5 сгруппированы более сухолюбивые непетрофитные кустарниковые степные сообщества *Dracocephalo-Rosetum*.

Второй экологический ряд по фактору каменистости субстрата представлен серией от луговых петрофитных мелкодерновинных степей *Youngio-Helictotrichetum* (-1,0-0,5) и влажных высокогорных криофитных степей *Dryado-Festucetum* (-0,5-0,0) к сообществам ксеромезофитных злаково-осоково-разнотравных степей *Androsaco-Caricetum* (-0,2-0,5) и ксерофитных злаково-разнотравных петрофитных степей *Youngio-Agropyretum* (-0,5-1,0). Замыкают этот экологический ряд расположенные в самой верхней части оси 2 умеренно влаголюбивые степи *Artemisio-Caricetum* (-0,5-1,0) и луговые разнотравно-овсецовые степи *Thalictro-Festucetum* (1,0-2,0).

Выявленные на ведущих осях экологические ряды сообществ выступили основой для обоснования фитоценоз топологической размерности, отражающих пространственную организацию растительного покрова на крупномасштабной картографической модели.

Результаты картографирования пространственной структуры растительности. В результате дешифрирования космических снимков Sentinel-2 и изучения распространенности сообществ на местности в связи с рельефом ключевого полигона создана картографическая модель пространственной организации разнообразия растительности горной лесостепи восточных отрогов Кузнецкого Алатау на примере ключевого полигона «Хребет Пистаг». На основе результатов ординации были выявлены следующие фитоценозы в ранге микрокомбинаций, которые представляют собой сочетания растительных сообществ. 1. Злаково-разнотравные петрофитные степи *Youngio-Agropyretum* и злаково-осоково-разнотравные степи *Androsaco-Caricetum*. 2. Мелкодерновинные овсецовые степи *Thalictro-Festucetum* и крупнодерновинные ковыльные степи *Artemisio-Caricetum*. 3. Петрофитные злаково-осоково-разнотравные степи *Androsaco-Caricetum* и криофитные тундростепи *Dryado-Festucetum*. 4. Мезоксерофитные светлохвойные леса *Primulo-Laricetum* и кустарниковые луговые степи *Dracocephalo-Rosetum*. 5. Кустарниковые луговые степи *Dracocephalo-Rosetum* и луговые перистоковыльные степи *Vupleuro-Helictotrichetum*. Профиль, отражающий распределение категорий выявленных фитоценоз, отражен на рисунке 3. Крупномасштабная картосхема растительности ключевого полигона приведена на рисунке 4. Легенда к крупномасштабной геоботанической картографической модели ключевого полигона представлена в таблице 1.

Первый микропоясный ряд характерен для подножий хребта, представленными пологими (1-5°) склонами северной экспозиции и выровненными участками. Начинают ряд ксеромезофитные перистоковыльные разнотравные степи *Vupleuro-Helictotrichetum* на выровненных участках у подножья склона с развитыми почвами (глубина залегания около 30-35 см). По мере приближения к горным склонам они замещаются плотно сомкнутыми (покрытие 80-100 %) кустарниковыми ксеромезофитными степями *Dracocephalo-Rosetum* по выровненным и слабо вогнутым участкам нижних частей склонов и временных водотоков с развитыми почвами. Эта ассоциация контактирует с гемибореальными остепненными светлохвойными лесами *Primulo-Laricetum*.

Второй микропоясный ряд характерен для более крутых склонов (7-15°) северной экспозиции. В нижней части склона находятся ксеромезофитные слабо петрофитные перистоковыльные степи *Vupleuro-Helictotrichetum*. Выше по вогнутым участкам с

неглубоким залеганием материнской породы (5–10 см) отмечаются петрофитные луговые степи евросибирского типа *Youngio-Helictotrichetum*. Выше по склону из-за увеличения инсоляции и уменьшения влажности почвы появляются более ксерофитные сообщества *Youngio-Agropyretum*.

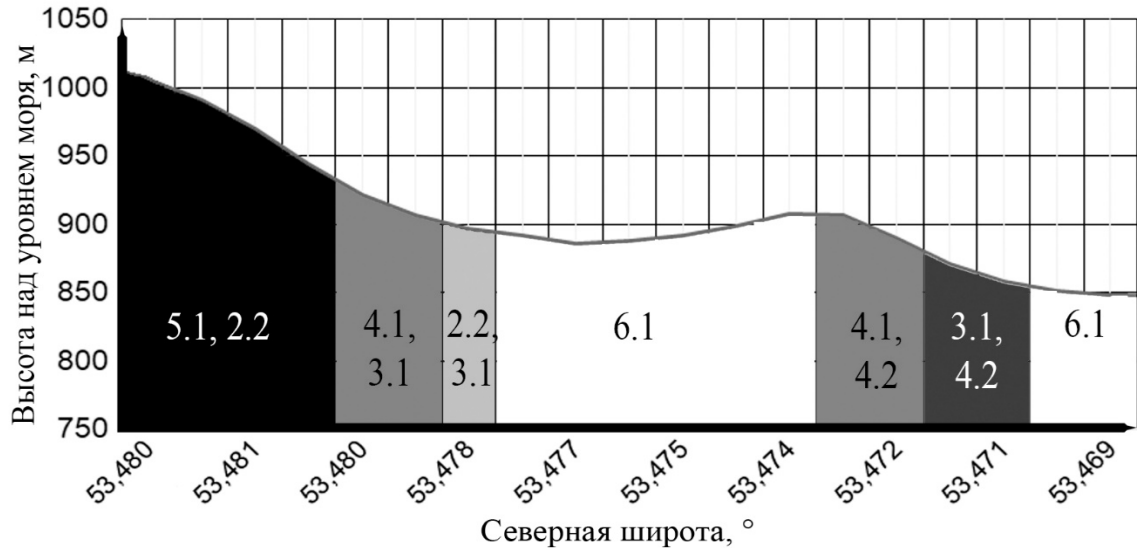


Рис. 3. Профиль через 90,4 ° в. д. по данным SRTM (обозначения соответствуют легенде карты и табл. 1)

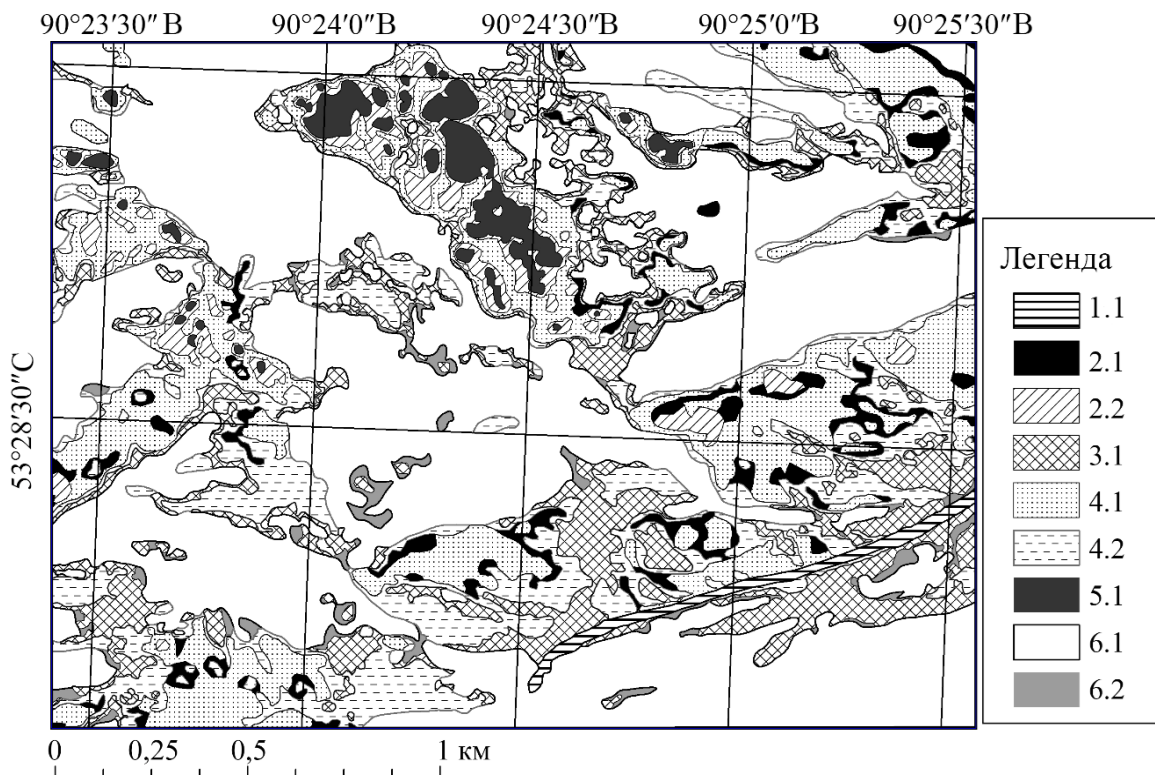


Рис. 4. Картографическая модель дешифрованного снимка Sentinel-2 ключевого участка «Хребет Пистаг»

Таблица 1

Легенда к картографической модели пространственной организации растительности
ключевого полигона «Хребет Пистаг»

Растительность лесостепного пояса среднегорного эрозийного рельефа восточных отрогов Кузнецкого Алатау	
1. Участки лишённые растительности	
1.1	Грунтовые дороги
2. Ксерофитные и мезоксерофитные петрофитные мелкодерновинные степи по склонам световых экспозиций	
2.1	Микропоясный ряд ксерофитных злаково-разнотравных петрофитных степей <i>Youngio tenuifoliae-Agropyretum cristati</i> (<i>Potentilla sericea</i> , <i>Koeleria cristata</i> , <i>Thymus serpyllum</i>) и мезоксерофитных крупнодерновинных злаково-осоковых степей <i>Pulsatilla turczaninovi-Caricetum pediformis</i> (<i>Stipa capillata</i> , <i>Galatella angustissima</i> , <i>Tephrosia integrifolia</i> , <i>Thymus serpyllum</i>)
2.2	Микрокомбинация ксерофитных злаково-разнотравных петрофитных степей <i>Youngio tenuifoliae-Agropyretum cristati</i> (<i>Potentilla sericea</i> , <i>Koeleria cristata</i> , <i>Thymus serpyllum</i>) и ксеромезофитных злаково-осоково-разнотравных степей <i>Androsaco dasyphyllae-Caricetum pediformis</i> с участием криофитов по крутым склонам гор южных экспозиций
3. Ксеромезофитные петрофитные и слабо-петрофитные разнотравно-злаковые луговые степи по пологим склонам	
3.1	Микропоясный ряд ксеромезофитных непетрофитных перистоковыльных луговых степей <i>Bupleuro multinervi-Helictotrichetum desertorum</i> (<i>Stipa pennata</i> , <i>Helictotrichon schellianum</i> , <i>Fragaria viridis</i> , <i>Bupleurum multinerve</i> , <i>Phleum phleoides</i> , <i>Galium boreale</i>) и ксеромезофитных петрофитных луговых степей <i>Youngio tenuifoliae-Helictotrichetum desertori</i> (<i>Thymus serpyllum</i> , <i>Potentilla sericea</i> , <i>Youngia tenuifolia</i> , <i>Thalictrum foetidum</i> , <i>Iris ruthenica</i> , <i>Artemisia tanacetifolia</i> , <i>Cotoneaster melanocarpus</i> , <i>Carex pediformis</i>)
4. Мезоксерофитные непетрофитные луговые степи выровненных межсклоновых пространств со слабым уклоном и временных водотоков с хорошо развитыми почвами	
4.1	Ксеромезофитные крупнодерновинные ковыльные степи <i>Artemisia glaucae-Caricetum pediformis</i> (<i>Artemisia glauca</i> , <i>Stipa capillata</i> , <i>Achillea asiatica</i>) и их кустарниковые (<i>Caragana rugmea</i>) варианты по пологим склонам северной экспозиции
4.2	Микрокомбинация мезоксерофитных мелкодерновинных овсецовых степей <i>Thalictro foetidi-Festucetum valesiacaе</i> (<i>Stipa krylovii</i> , <i>Helictotrichon altaicum</i> , <i>Dianthus versicolor</i> , <i>Scutellaria scordiifolia</i>) и ксеромезофитных крупнодерновинных ковыльных степей <i>Artemisia glaucae-Caricetum pediformis</i> (<i>Artemisia glauca</i> , <i>Stipa capillata</i> , <i>Achillea asiatica</i>)
5. Мезоксерофитные петрофитные мелкодерновинные степи и криофитные тундростепи по выровненным и слабо выпуклым вершинам хребтов	
5.1	Микрокомбинация мезоксерофитных петрофитных злаково-осоково-разнотравных степей <i>Androsaco dasyphyllae-Caricetum pediformis</i> (<i>Orostachys spinosa</i> , <i>Arctogeron gramineum</i> , <i>Festuca sibirica</i>) с участием криофитов (<i>Kobresia filifolia</i> , <i>Minuartia verna</i> ,) и криофитных тундростепей <i>Dryado oxyodontae-Festucetum valesiacaе</i> (<i>Dryas oxyodonta</i> , <i>Saussurea schanginiana</i> , <i>Pulsatilla ambigua</i> , <i>Oxytropis bracteata</i>) по вершинам хребта
6. Мезоксерофитные светлохвойные гемибореальные леса и ксеромезофитные кустарниковые сообщества выровненных участков и подножий склонов	
6.1	Микрокомбинация мезоксерофитных светлохвойных лесов <i>Primulo cortusoides-Laricetum sibiricaе</i> (<i>Larix sibirica</i> , <i>Primula cortusoides</i> , <i>Saussurea controversa</i> , <i>Filipendula stepposa</i>) и кустарниковых луговых степей <i>Dracocephalo ruyschianaе-Rosetum acicularis</i> (<i>Agrimonia pilosa</i> , <i>Dracocephalum ruyschiana</i> , <i>Rosa acicularis</i> , <i>Rosa majalis</i> , <i>Spiraea media</i> , <i>Polygonatum odoratum</i>) по подножьям и теневым частям склонов
6.2	Микрокомбинация мезоксерофитных кустарниковых луговых степей <i>Dracocephalo ruyschianaе-Rosetum acicularis</i> (<i>Agrimonia pilosa</i> , <i>Dracocephalum ruyschiana</i> , <i>Rosa acicularis</i> , <i>Rosa majalis</i> , <i>Spiraea media</i> , <i>Polygonatum odoratum</i>) и перистоковыльных луговых степей <i>Bupleuro multinervi-Helictotrichetum desertorum</i> (<i>Helictotrichon schellianum</i> , <i>Fragaria viridis</i> , <i>Seseli libanotis</i> , <i>Bupleurum multinerve</i> , <i>Phleum phleoides</i>)

Третий микропоясный ряд располагается на склонах южной экспозиции. Он характеризуется замещением сообществ по фактору уменьшения теплообеспеченности в связи с увеличением абсолютных высот. Подножья южных склонов и небольшие террасы с более развитым почвенным покровом (глубина залегания 25–45 см) занимают более сухие варианты ксеромезофитных овсецовых степей *Thalictro-Festucetum* и крупнодерновинных ковыльных степей *Artemisio-Caricetum*. На склонах с более развитым почвенным покровом преобладают ковыльные и овсецово-разнотравные степи и их кустарниковые варианты. Луговые степи *Vupleuro-Helictotrichetum* на этих участках локальны и приурочены к углублениям микрорельефа, служащих временными водотоками.

В средней части склонов по выпуклым участкам и выходам скальных пород со слабо развитыми дресвянистыми почвами (глубина 3–10 см, покрытие дресвы до 80 %) распространены петрофитные степи. Данные местообитания заняты мезоксерофитными петрофитными сообществами *Androsaco-Caricetum* с участием криофитов (*Kobresia filifolia*, *Minuartia verna*, *Saussurea schanginiana*). Эта ассоциация образует сочетание со злаково-разнотравными петрофитными степями *Youngio-Agrophyrietum*. Из-за сложности микрорельефа на снимках отдельно данные сообщества не выделяются, но хорошо отмечаются их микрокомбинации. Изредка в местах локальных выходов скальных пород встречаются очитковые сообщества с преобладанием: *Sedum hybridum*, *Kitagawia baicalensis*, *Artemisia gmelinii*.

В центральной части склона по выровненным или слабо выгнутым участкам с развитыми почвами распространены непетрофитные луговые разнотравно-овсецовые степи *Thalictro-Festucetum*. Они не занимают больших пространств и в основном локальны, часто образуют сочетания с петрофитными злаково-разнотравными сообществами *Youngio-Agrophyrietum*. Характерной особенностью исследованной территории является появление в средней части склонов более сухих субассоциаций листовеннично-березовых остепненных гемибореальных лесов *Primulo-Laricetum*, которые занимают выровненные или слабо выпуклые участки и формируются в более теплых и сухих условиях, чем леса подножий, но при этом получающие больше влаги, чем окружающие их степи за счет стока дождевой воды с верхних частей склона.

В верхней части склонов формируются сложные сочетания сообществ, вызванные особенностями микрорельефа. На выпуклых частях со слабо развитой почвой распространены петрофитные сообщества *Androsaco-Caricetum* и *Youngio-Agrophyrietum*. По временным водотокам располагаются ксеромезофитные перистоковыльные степи и заросли кустарников. С высоты в 900 м. на склонах начинают появляться отдельные высокогорные виды (*Saussurea schanginiana*, *Dryas oxyodonta* и *Pedicularis lasiostachys*) и отмечаются тундростепи – ассоциация *Dryado-Festucetum*. На выровненных дресвянистых вершинах склонов она сочетается с петрофитными злаково-разнотравными сообществами *Androsaco-Caricetum*, которые занимают достаточно крупные территории и хорошо дешифрируются на снимках.

Использование снимков Ресурс-П дало возможность создать картографическую модель более крупного масштабного уровня, отражающую более детальную структуру растительного покрова (рис. 5).

На картосхеме выявленные микрокомбинации разделены на слагающие их сообщества – фитоценомеры. На исследованном полигоне более детальное отражение фитоценомер позволило показать их относительную площадь и точное расположение сообществ с участием криофитов: тундростепей *Dryado-Festucetum* (*Saussurea schanginiana*, *Dryas oxyodonta* и *Pedicularis lasiostachys*) и петрофитных сообществ *Androsaco-Caricetum* (*Kobresia filifolia*, *Minuartia verna*, *Patrinia sibirica*), содержащих виды из Красной книги Хакасии (2012): *Oxytropis includens*, *Adenofora rupestris*, *Pedicularis lasiostachys* и *Oxytropis bracteata*.

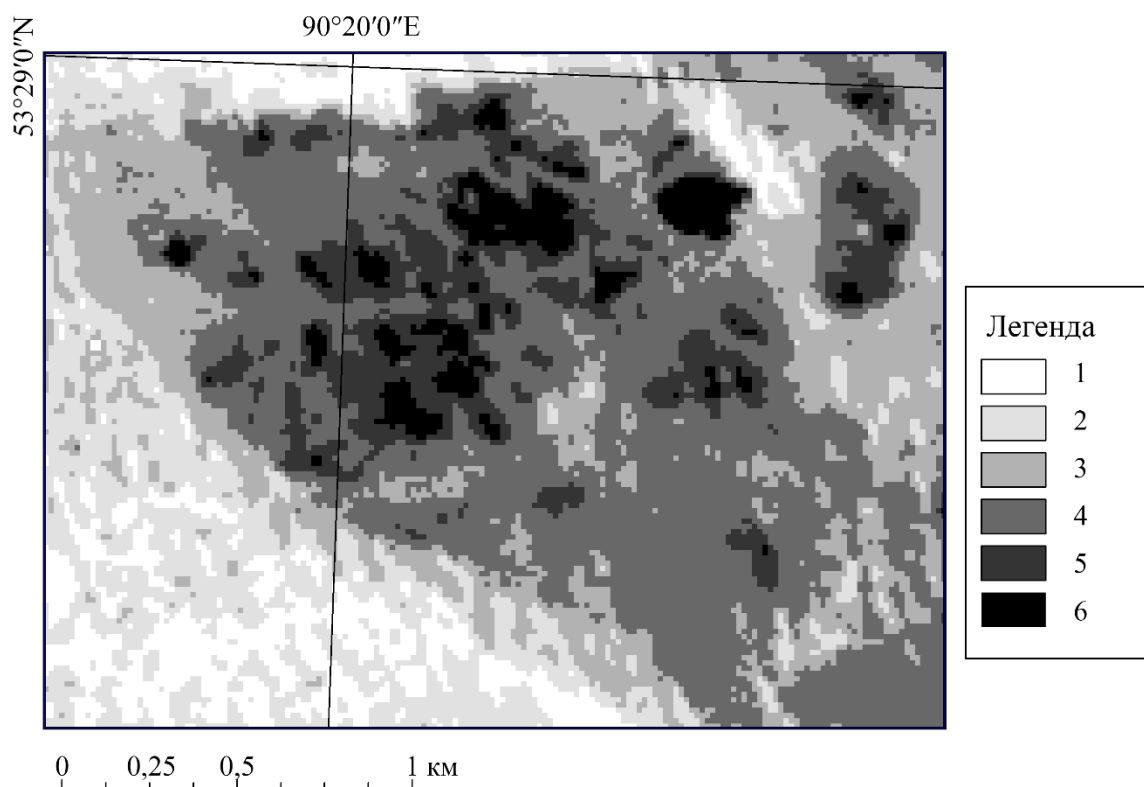


Рис. 5. Дешифрованный снимок Ресурс-П ключевого участка полигона «Хребет Пистаг»

1 – участки лиственных лесов *Primulo cortusoides-Laricetum sibiricae*; 2 – кустарниковые сообщества *Dracocephalo-Rosetum* и гари; 3 – овсецовые степи *Thalictro-Festucetum* и луговые перистоковыльные степи *Vupleuro-Helictotrichetum*; 4 – петрофитные сообщества *Youngio-Agropyretum*; 5 – петрофитные сообщества *Androsaco-Caricetum*; 6 – тундростепи *Dryado-Festucetum*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное крупномасштабное геоботаническое картографирование ключевого полигона «Хребет Пистаг» позволило определить закономерности пространственной организации растительности горностепного пояса восточных отрогов Кузнецкого Алатау. На основе проведенной классификации и ординации разработана картографическая модель, легендой которой послужили выделенные при классификации единицы растительности ранга ассоциации. Проведенная ординация растительности позволила выявить ведущие экологические факторы: количество осадков, каменистость субстрата, высота над уровнем моря и их связи с особенностями рельефа, что позволило выделить экологические ряды сообществ. С помощью дешифрирования космических снимков Sentinel-2 и Ресурс-П созданы картографические модели, показывающие организацию сообществ лесостепного пояса восточных отрогов Кузнецкого Алатау на уровне микрокомбинаций, экологических рядов и отдельных сообществ. Созданная картографическая модель в крупном масштабе может быть использована для мониторинга редких сообществ (криофитных высокогорных степей *Dryado-Festucetum*, петрофитных степных сообществ с криофитами *Androsaco-Caricetum* и перистоковыльных степей *Vupleuro-Helictotrichetum*), а также позволяет определить их ландшафтные позиции.

Исследование поддержано грантом Российского научного фонда No. 22-17-20012, <https://rscf.ru/project/22-17-20012/> с равной финансовой поддержкой правительства Республики Хакасия.

Список литературы

- Волкова В. Г. Крупномасштабное картографирование стадий восстановления степных фитоценозов Хакасии // Геоботаническое картографирование. – Л.: Наука. Ленинградское отделение, 1983. – С. 51–60.
- Градобоев Н. Д. Природные условия и почвенный покров левобережной части Минусинской впадины // Почвы Минусинской впадины. – М.: из-во АН СССР, 1954. – С. 7–183.
- Ермаков Н. Б., Пестунов И. А., Дидух Я. П., Полякова М. А. Структура криофитно-степной фитоценохоры на снимках высокого разрешения в горно-степном поясе северной Хакасии // Вестник НГУ, Серия медико-биологическая. – 2013. – Т. 11, вып. 1. – С. 54–60.
- Зеленая книга Сибири (редкие и нуждающиеся в охране растительные сообщества). – Новосибирск: Наука. – 1996. – 396 с.
- Королюк А. Ю., Макунина Н. И. Низкотравные каменистые степи Северо-Минусинской котловины [в пределах Хакасии] // Ботанический журнал. – 1998. – Т. 83, № 7. – С. 119–126.
- Красноборов И. М. О «тундростепях» на юге Средней Сибири // Растительный покров высокогорий. – Л.: Наука, 1986. – С. 131–136.
- Куминова А. В. Степи // Растительный покров Хакасии / [Отв. ред. А. В. Куминова]. – Новосибирск: Наука, 1976. – С. 95–153.
- Макунина Н. И. Степи Минусинских котловин // Turczaninowia. – 2006. – Т. 9, вып. 4. – С. 112–144.
- Макунина Н. И., Игай Н. В. Пространственная структура растительного покрова степного пояса Июсо-Ширинской котловины // Растительный мир азиатской России. – 2011. – № 2 (8). – С. 77–84.
- Мистрюков А. А. Геоморфологическое районирование Назаровско-Минусинской межгорной впадины. – Новосибирск: ОИГГМ, 1991. – 130 с.
- Полевая геоботаника. Методическое руководство / [Отв. ред. Е. М. Лавренко]. – Новосибирск: Издательство Академии наук СССР, 1964. – Т. 3. – 530 с.
- Полевая геоботаника. Методическое руководство / [Отв. ред. Е. М. Лавренко]. – Новосибирск: Издательство Академии наук СССР, 1972. – Т. 4. – 335 с.
- Поликарпов Н. П., Чебакова Н. М., Назимова Д. И. Климат и горные леса Южной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1986. – 225 с.
- Растительный покров Хакасии / [Ред. А. В. Куминова]. – Новосибирск: Наука, 1976. – 421 с.
- Ревердатто В. В. Ледниковые реликты во флоре Хакасских степей // Труды Томского университета. – 1934. – Т. 86. – С. 1–8.
- Соболевская К. А. К вопросу о реликтовой флоре восточных склонов Кузнецкого Алатау и хакасских степей // Известия Западно-Сибирского Филиала АН СССР. Серия Биологическая. – 1946. – Т. 1, вып. 2. – С. 33–40.
- Ларионов А. В., Ермаков Н. Б., Полякова М. А. и др. Степная растительность Хакасии: разнообразие и экология. – Абакан: Издательство ФГБОУ ВПО «Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова», 2015. – 196 с.
- Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). – СПб.: Мир и семья – 95, 1995.
- Ermakov N., Larionov A., Polyakova M., Pestunov I., Didukh Ya. Diversity and spatial structure of cryophytic steppe of the Minusinskaya basin in Southern Siberia (Russia) // Tuexenia. – 2014. – Vol. 34. – P. 431–446.
- Fick S.E., Hijmans R. J. Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas // International Journal of Climatology. – 2017. – Vol. 37. – P. 4302–4315.
- Hennekens S. M. TURBO(VEG). Software package for input, processing, and presentation of phytosociological data. User's guide. – Lancaster: IBN-DLO, University of Lancaster, 1996. – 59 p.
- Hill M. O. DECORANA and TWINSpan, for Ordination and Classification of Multivariate Species Data: A New Edition, Together with Supporting Programs, in FORTRAN 77. – Huntington: Institute of Terrestrial Ecology, 1979. – 58 p.
- Leps J., Smilauer P. Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO. – New York: Cambridge University Press, 2003. – 269 p.
- Tichy L. JUICE, software for vegetation classification // Journal of Vegetation Science. – 2002. – Vol. 13. – P. 453.
- Theurillat J.-P., Willner W., Fernández-González F., Bültmann H., Carni A., Gigante D., Mucina L., Weber H. International code of phytosociological nomenclature. 4rd ed. // Vegetation Science. – 2020. – 24(2). – P. 1–62.
- Westhoff V. & van der Maarel E. The Braun-Blanquet approach // Handbook of vegetation science – 1973. – Vol. 5. – P. 617–726.

Larionov A. V. Spatial structure of plant communities of the mountainous forest-steppe of Khakassia: A Case Study of the "Pistag Ridge" Model Polygon // Ekosistemy. 2023. Iss. 36. P. 102–113.

The article is devoted to the peculiarities of the spatial organization of vegetation on the border of the eastern spurs of the Kuznetsk Alatau and the South Minusinsk basin. Eleven plant community associations were identified during classification. With the help of DCA-ordination, the key ecological factors were identified: precipitation, stony substrate, elevation above sea level. Based on the classification and gradient analysis, the ecological series of plant communities, changing in accordance with the key environmental factors are described. The selected series made it possible to identify the main patterns of plant communities with changes in humidity factors-elevation from meadow steppes with *Stipa pennata* and larch hemiboreal forests at the foot of slopes on leveled areas, to cryophytic tundra steppes and petrophytic steppes with glacial relics in the upper, coldest parts of the ridge.

Cartographic models of the upper part of the forest-steppe belt were developed using Sentinel-2 and Resurs-P satellite imagery on the key "Pistag Ridge" polygon. The first model reflects the main combinations of plant community associations as phytocenoses, while the second model demonstrates the peculiarities of the organization of microcombinations of individual phytocenometers on the association level. The developed models illustrate the patterns of spatial organization of vegetation in the upper part of the Kuznetsk Alatau forest-steppe belt and can be used to assess the prevalence of rare associations and individual Red Book plant species of Khakassia.

Key words: phytocoenology, vegetation classification, large-scale mapping, ordination, phytodiversity, Kuznetsk Alatau.

Принята к рассмотрению 15.06.23

Принята к печати 02.10.23

The main results of spring aerial survey of birds at the Russian part of the Gulf of Finland

Bubluchenko J. N.¹, Bubluchenko A. G.³, Verevkin M. V.³

¹ *Nature conservation Department of Leningradsky ZOO, Saint-Petersburg, Russian Federation
julandb@mail.ru*

² *Zoological institute of Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russian Federation
abubluchenko@mail.ru*

³ *Saint-Petersburg Research Centre of Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russian Federation
vermiv@yandex.ru*

The paper presents results of three-season spring bird aerial surveys in the Russian part of the Gulf of Finland of the Baltic Sea. The research involved surveying the water area of seven Protected Areas –“East of the Gulf of Finland”, “Berezovye Islands”, “Kurgalsky”, “Vyborgsky”, “Kotelsky”, “Lebyazhy”, “Western Kotlin”. The main goal of this research was to monitor previously known and to discover new mass stopovers of marine, waterfowl and shore birds during the spring migration, to clarify the large breeding bird colonies location in this region, as well as to assess possible changes in their current location, number and bird species composition due to the ever-increasing anthropogenic pressure on ecosystems of the Gulf of Finland. Bird counts were performed in spring 2016-2020. The total time of aerial surveys was more than 39 hours (about 4.5 hours per day count). Surveys were carried out twice a season in 2016 and 2020, four times in 2018 with an interval of 5-7 days, which was due to the necessity to obtain data on changes in the species composition of migratory birds and changes in stopover locations, as well as fixing the beginning of reproduction period. Furthermore, 18 066 photographs were taken and analyzed. In total, 81 509 birds of 53 species from 8 orders were recorded during the observation period; moreover 24 species were included into Red Data lists of different ranks. Data obtained revealed 15 main sites of migratory bird stopovers and 9 main breeding areas in the surveyed area. They made it possible to compile more complete picture of migratory bird stopovers, supplementing the already known information with data on migrants and mass breeding birds. It also should be noted that such detailed aerial bird surveys in vast water areas were conducted for the first time in this region.

Keywords: spring migration, spring stopovers, shore birds, waterfowl, breeding colonies.

INTRODUCTION

The Gulf of Finland (Finnish: Suomenlahti; Estonian: Soome laht; Swedish: Finska viken) is the easternmost part of the Baltic Sea. It extends between Finland (to the north), Russia (to the east) and Estonia (to the south). The Gulf west border is an imaginary line between the Hanko peninsula and Põõsaspea cape. The gulf has an area of 29,500 km², the length is 420 km and the width varies from 70 km near the entrance to 130 km in the widest part. The eastern (Russian) part of the Gulf of Finland has a water area of more than 11,000 km² and a coastline in a complex configuration of more than 500 km. The gulf is relatively shallow, with the depth decreasing from the entrance of the gulf to the continent. The average depth is 38 m, the maximal depth is 121 m; near to shore it is about one m. The gulf abounds with shoals, banks, skerries and islands. The largest islands in investigated area are Kotlin Island with Kronstadt, Beryozovye Islands, Gogland, Moshny, Malyi Tyuters, Bolshoy Tyuters, Seskar etc.

Shoals with the depth of less than 10 m occupy about a quarter of the Gulf of Finland. Among them, the vastest shoals are the Nevskaya Bay, area around Berezovye Islands, the Koporskaya Bay, the shoals around Kurgalskii peninsula, Kotlin, Seskar, Moshnyi, Malyi and Malyi Tyuters islands. These zones are well-warmed up, aerated and properly lit and have high biological productivity and huge feeding resources and able to feed millions of migratory birds (Noskov, 1997, 2002).

In total, 19 protected areas of various ranks are located on the Gulf coast and islands, including the National Park "East of the Gulf of Finland".

Birds are the largest and most diverse of vertebrates group inhabiting the mainland coast and islands of the Gulf of Finland. During the seasonal migrations, up to 230–235 species can be seen in the Gulf and adjacent area (including forest biotopes). The 2016–2020 aerial surveys were aimed at obtaining a more complete picture of the spring migration in the eastern part of the Gulf of Finland and clarifying migration stopover sites here.

MATERIAL AND METHODS

At present time aerial remote sensing surveys are becoming more popular as they can be used to monitor animals in their natural habitats without disturbing them. Previously, the details achievable by high spatial resolution aerial imagery enabled the population estimation of only a few bird species. Nowadays, high spatial resolution and high-speed digital cameras have recorded open land surfaces at high altitudes during high-speed flights. Thus, animals do not perceive the aircraft passing over them (Aerial Surveys..., 2008; Certain, Bretagnolle, 2008; Delani, 2011; Báko et al., 2014; Porter et al., 2021). High resolution modern digital cameras allow acquiring the detailed images of single birds and flocks on water and an open coastline at a distance. During this photographing, birds do not feel the close presence of observers, which makes it possible to carry out the most accurate counts with minimal disturbance. Aerial photography is one of the best methods of counting in vast, remote areas (Concepts of Aerial Photography..., 2019), including marine waters, and an important way to identify areas of migratory concentrations of birds. Slow-flying aircraft is considered the most suitable aircraft for aerial photography: with their help, large areas can be inspected and large amounts of information can be collected in a short time (Aerial Surveys..., 2008; Delani, 2011; Bublichenko J., Bublichenko A., 2015).

The aerial surveys were performed in the Russian part of the Gulf of Finland. Bird counts were performed on 23.04.2016; 8.05.2016; 14.04.2018; 18.04.2018; 13.05.2018; 15.05.2018; 26.05.2020; 2.06.2020 which made it possible to identify birds' stopovers during the all migratory season and nest colonies of large bird species.

During the aerial surveys we performed the total counting of all flocks and single birds both flying and sitting on the shore or water. In addition, we made pictures of the main waterfowl migratory sites and breeding habitats. We plotted all routes for bird aerial surveys through sites of the most probable stopovers according to published data (Putkonen, 1936, 1940, 1942) Noskov et al., 1965; Noskov, Rezvy, 1995; Bublichenko, Kozlov, 1998, Bojarinova, Bublichenko, 2001; Vassiljeva, 2001; Buzun, 2001; Noskov, 2002; Iovchenko et al., 2006; Bublichenko, 2007a, Bublichenko, 2007b; Rymkevich et al., 2009; Noskov et al., 2016; Bublichenko, Verevkin, 2017, 2018; Bublichenko, 2018; etc.).

Surveys were carried out onboard of the aircraft Cessna 182, leased from the Aero club NP "Nevsky Aero Club" (Air Operator Certificate AP-13-10-003). The pilot was qualified as a commercial pilot and had many years of experience in providing counts of birds and marine mammals.

Weather conditions were carefully examined before takeoff and flights only started when weather conditions were equivalent or better to: sea state \leq Beaufort 3, little cloudy with minimal wind (no more than 2–3 m/sec), absence of rain or fog etc. (Table 1).

The average flight speed on transects was 180–200 km/h. The average height of the flight (90 m) was maintained by the pilots with the help of a radar altimeter. The speed of the aircraft at the time of observing bird flocks and the detected stopovers varied from 70 to 90 km/h. A relatively slow airspeed enhanced the accuracy and reliability of counting, as it allowed to observe investigated area, and therefore not to miss the target.

The observations were performed by two experienced researchers from two sides of the aircraft. The first observer was sitting on the port side, the second observer – on the starboard. All equipment was used according to the HELCOM standards: 1) high-wing fixed aircraft with opening window; 2) digital cameras with zoom lenses 200-300 mm in their range and image stabilizer. We used cameras with high resolution (Canon EOS 40D with lenses Canon 70–200 mm and Nikon D750 with

Table 1

Weather conditions during the observation days

	Temperature (°C)	Atmosphere pressure (mm)	Cloudiness (%)	Wind (m/sec)	Wind direction	Visibility (km)	Precipitation	Degree of ice coverage (%)
23.04.2016	+8	754	50	1	S	10	0	5
08.05.2016	+20	768	0	2	NW	10	0	0
14.04.2018	+2,4	772	30	2	W	20	0	50
18.04.2018	+5	763	40–60	3	NE	4	0	30
13.05.2018	+12,3	768	10	1	NE	10	0	0
15.05.2018	+20	764	0	1	SE	10	0	0
26.05.2020	+21	772	30	1	NW	10	0	0
02.06.2020	+17	765	0	2	NW	20	0	0

Nikkor 70–300 mm and GPS tags for each photo; 3) binoculars; 4) GPS receivers Garmin GPS map 60CX and Nikon GP-1 GPS Unit etc.

During the aerial surveys we explored the following islands (Fig. 1): small islets of the Kurgalsky Reef (1) and the Reimosar Island (2) (“Kurgalsky” Nature Reserve), Vigrund (3), Bolshoi Tyuters (4), Malyi Tyuters (5), North and South Virgins (6) (“East of the Gulf of Finland” Wildlife Reserve), Rodsher (7), Gogland (8), Bolshoi Fiskar archipelago (9) (“East of the Gulf of Finland” Wildlife Reserve), the Berezovye Islands (10), including the Rondo (11) (“Berezovye Islands” Nature Reserve), Kotlin (12) (“Western Kotlin” Nature Reserve), Seskar (13) (“East of the Gulf of Finland” Wildlife Reserve), Malyi (14), Moshnyi (15). We also examined the southern mainland coast from the “Lebyazhy” regional Reserve through Chernaya Lachta vill. and the Koporskaya Bay (“Kotelsky” regional Nature Reserve) to the Kurgalsky Peninsula and Narva Bay (Fig. 1, 2). In addition, we grouped birds marked in the open area to the nearest islands.



Fig. 1. Location of islands and reefs where aerial bird surveys were carried out



Fig. 2. Example of the aerial survey route (26th May 2020)

During each aerial survey, we recorded coordinates and took pictures of all flocks and single birds found sitting on the water, on the shoreline, on an ice floe and flying by transit. Some individuals or flocks were not possible to identify from the air due to their subtle differences in identifying characteristics that were not visible at distance, because of lighting features or high speed. These species were grouped into broader taxonomic categories (e. g. “unidentified ducks”, “unidentified swans”, “*Melanitta* sp”, “terns”) according to easily identifiable characteristics (general size, shape, color: e. g. “black-backed gulls”, “silver gulls”) allowed (Stehn et al., 2008).

The total time of aerial surveys was more than 39 hours (about 4.5 hours per day count). The survey was carried out twice a season in 2016 and 2020, four times in 2018 with an interval of 5–7 days, which was due to the necessity to obtain data on changes in the species composition of migratory birds and changes in stopover locations. All flight routes were designed to visit the most important sites for migratory and breeding birds (Fig.2). The total route length was more than 6 500 km (about 900 km per each count). 18 066 photographs were taken and then analyzed in 2016–2020 by both surveyors (Table 2).

Table 2

Number of images taken and analyzed in 2016–2020

	14.04.2018	18.04.2018	23.04.2016	8.05.2016	13.05.2018	15.05.2018	26.05.2020	2.06.2020	Total
Starboard	367	784	1133	742	1700	1008	1903	1852	
Portside	298	689	1101	1338	1430	1804	689	1228	
Total	665	1473	2234	2080	3130	2812	2592	3080	18066

All photographs were reviewed and, if necessary, processed in the following programs: Nikon View NX2, Fast Stone Image Viewer, Adobe Photoshop CC 2018. The coordinates of the marked waterfowl flocks were transferred to the map of Gulf of Finland in the Quantum GIS 2.8 program to create the map of the most important stopovers. Maps of the work area and meeting points of flocks of birds were also created in Quantum GIS, and then the main stopover plots were combined in Adobe Photoshop CC 2018. All data about bird records, bird number, diagrams and the main stopover and breeding areas coordinates were entered and created in the Excel 2018.

Avifauna of the Gulf of Finland islands

Birds are the largest and most diverse of vertebrates group inhabiting the mainland coast and islands of the Gulf of Finland. During the seasonal migrations up to 230–235 species can be seen in the Gulf and adjacent area (including forest biotopes). In total, the avifauna of the mainland coast and islands includes more than 80 % of birds recorded in the Leningrad Region; 59 bird species of these are rare and protected in the region (Bubluchenko et al., 2018); 28 bird species are included in the HELCOM Red List (Kontula, Haldin, 2013); 14 bird species are in the Red Data Book of the Russian Federation (Pavlov, 2021); 4 bird species are in IUCN International List of Threatened Species of Animals and Plants (IUCN Red List, 2020) (Bubluchenko J., Bubluchenko A., 2020).

A significant part of coastal bird habitats is currently represented in 10 existing 'KBA' (Kondratyev, 2000), part of the International Program "Important Bird Areas" (IBA), one Federal and 18 regional reserves. Speaking about the peculiarities of the bird habitats structure on the coastal and insular areas of the Gulf of Finland region, it is necessary to emphasize the natural heterogeneity of these territories, and, as a result, the presence of completely different ecological groups of birds here (Bubluchenko, 2014).

Features of spring bird migration in the Russian part of the Gulf of Finland

The Gulf of Finland plays an important role as a "bottleneck" for millions of migrants. This role of the "accumulator" of migratory waterfowl, shore birds and another species is also determined by climatic and biocenotic factors (Kontiokorpi, 2000); Noskov, Rymkevich, 2014, 2016).

The vast majority of waterfowl and seabirds enters the Gulf of Finland from the Baltic regions in spring (Noskov et al., 1965, 1995 a, Noskov et al., 1995b; 2016; Noskov, 1997, 2002; Noskov, Rymkevich, 2014, 2016). Observations of the spring migration in recent decades show that two main flight paths of waterbirds crossing the Leningrad region (Noskov, 2002) continue to operate in North-West Russia. The first one is eastward to the Neva Bay and further along the south coast of Lake Ladoga to Svir Bay, the second one (the most significant for the research performed) goes from the Gulf of Riga in the Baltic Sea through the central part of the Gulf of Finland to the Vyborg Bay and further north through the Karelian Isthmus and Ladoga Lake. A lot of arctic species (loons, Whooper Swan, brent geese, sea ducks and gulls) fly along this migration path. At the same time, the Gulf is not an area with huge stopover sites of arctic migrants, with a few exceptions, such as *Aythya marila*, loons and swans (Buzun, 2001; Noskov, 2002; Bubluchenko, Kouzov, 2015; Rintala et al., 2016; Bubluchenko, Verevkin, 2018). Mass swan stopovers (*Cygnus olor*, *C. cygnus* and *C. bewickii*) were found in the northern part of the Gulf of Finland in the shallow waters around the Beryozovye islands (Bubluchenko, 2007a, Bubluchenko, 2007b, 2015), as well as near the Kurgalsky Reef and the Pihlisar Cape of Kurgalsky Peninsula (Bubluchenko, Kozlov, 1998; Bubluchenko, 2000; Bubluchenko J., Bubluchenko A., 2020, etc.). In recent years, large concentrations of geese, ducks and gulls resting and feeding, were also observed at the investigated area (Kontiokorpi, Parviainen, 1995; Rychkova, 2009; Rymkevich et al., 2009; Kouzov, Kravchuk, 2011a; Sagitov, 2012; Iovchenko et al., 2017; Pchelintsev, Chaadaeva, 2020, etc.). Large transit flocks and stopovers of *Branta leucopsis* were registered on the islands and peninsulas of the Gulf of Finland during the spring migration (Noskov et al., 1993; Bubluchenko, Kozlov, 1998; Leito, 1999; Bojarinova, Bubluchenko, 2001; Vassiljeva, 2001; Kouzov, Kravchuk, 2011b; Noskov et al., 2016).

It should be clarified that the first aerial surveys of water birds in this region were carried out from a helicopter in May 2002 in the Vyborg Bay and Berezovye Islands area (Iovchenko et al., 2006). Later, in the Russian part of the Gulf of Finland, first spring aerial surveys were conducted in 2016, 2018 (Bubluchenko, Verevkin, 2017, 2018) and 2020. They made it possible to clarify the species composition and stopovers location, to assess the intensity of the migration flow of geese, brants, many duck species and other birds during the spring time, to assess the possibility/degree of impact of the gas pipeline construction on migratory stopovers and key bird breeding areas. Aerial surveys in 2016–2020 made it possible to compile a more complete picture of migratory bird stopovers, supplementing the already known information with data on migrants.

RESULTS

In total, 81 509 birds of 53 species from eight orders were recorded during the observation period (Table 3). Of all recorded species, 10 bird species are included in IUCN Red list (2020); 22 – in the Red Data Book of animals of the Leningrad Region (2018), 8 – in the Red Data Book of Russian Federation (2021), and 11 – in the HELCOM Red List of birds (2013) (Table 4).

Birds registered in different years

Table 3

Orders	2016	2018	2020	Total	Number of species
Gaviiformes	–	2	2	4	1
Podicipedidae	16	17	–	33	2
Pelecaniformes	2758	10447	12369	25574	1
Ciconiiformes	7	3	50	60	2
Anseriformes	11170	11818	6549	29537	28
Falconiformes	1	4	6	11	1
Gruiformes	–	2	2	4	2
Charadriiformes	6614	11089	8583	26286	16
	20566	33382	27561	81509	53

Anatidae (Anseriformes) dominated during the observation period (Fig. 3), their total number was 29 537 individuals, i. e. 36 % of the total number of registered birds. The total number of recorded Anatidae species was 28; the most numerous were *Bucephala clangula* (788 ind. – in 2016, 942 – in 2018, 2631 – in 2020), *Clangula hyemalis* (more than 1400 annually: 1106 in 2016, 1402 – in 2018, 1405 – in 2020), *Melanitta* gr. (1030 in 2016, 4190 – in 2018, 166 – in 2020). A large difference in the number of migratory birds such as *Anser anser* (1156 ind. in 2016, 763 – in 2018, 374 – in 2020), *Branta leucopsis* (153, 631, 78, respectively), *Anser fabalis* (270, 104, 0, respectively), *Mergus merganser* (177, 364, 301, respectively) and *Melanitta* gr. can be explained by different timing of the counts.

As a rule, *Cygnus olor*, *Cygnus cygnus*, *Mergus merganser*, *Somateria mollissima*, *Anser anser* and *Aythya fuligula*, were flying in small flocks (up to 15–20- individuals, as a rule). Most other birds were observed in flocks of 15–30 individuals at least (*Branta leucopsis*, *Anas penelope*, *Anas platyrhynchos*, *Mergus serrator*). *Bucephala clangula*, *Clangula hyemalis* – from 60 to 100 and more birds in a flock, *Melanitta nigra* and *M. fusca* (more than 100–200 birds as a rule) formed the largest flocks.

Numerous nonbreeding duck flocks concentrate in the Gulf of Finland in early summer (Noskov, Rymkevich, 2016). In 2020, the authors registered the beginning of formation of such flocks for *Anas platyrhynchos* (237 individuals), *Aythya fuligula* (102) and *Anas penelope* (81).

Gulls (Laridae) and *Phalacrocorax carbo* were the most numerous (Fig. 3). They amounted up to 57.6 % (up to 7 050 and 12 369, in 2020, respectively) of all registered birds. Low number of cormorants during the aerial counts in 2016 is explained, from our point of view, by the late ice melting in the Gulf that season. It is known that the number of this species were constantly high in recent years on breeding sites, and it has increased in many colonies significantly (Gaginskaya, Rychkova, 2011; Bublichenko, Kouzov, 2015; Bublichenko, 2016a, Bublichenko, 2016b).

The most numerous species from the gulls (up to 9519 individuals in 2018, Fig. 3) was *Larus argentatus* (about 5000–6000 individuals per year), it's more than 24 % of the total bird number observed. But the significant part of the registered both European herring gulls and great cormorants were already sitting on the nests in May-beginning of June. We fixed all breeding sites and feeding places for these species. In April, 2016, due to the late ice melting, we were able to register both migrants and birds that had just arrived at the nesting sites.

Table 4

The list of rare bird species registered during the observation period 2016–2020

Scientific name	Krg	BI	MT	BT	BF	S	KBL	G	M	MI	R	Kt	Vrg	Nature-conservation status
<i>Gavia arctica</i>	+	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	L3; H(CRw); RF2
<i>Podiceps auritus</i>	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	L3; EU(EN)
<i>Branta leucopsis</i>	–	+	+	+	+	–	+	+	–	–	–	–	–	LB
<i>Branta bernicla</i>	–	–	+	+	+	–	–	–	+	+	–	–	–	L4; H(NTw); RF3
<i>Anser anser</i>	+	+	–	+	+	+	+	–	+	+	+	–	+	RF2; L3
<i>Anser erythropus</i>	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–	L1; VU; RF2
<i>Cygnus cygnus</i>	+	+	–	–	+	+	+	–	+	+	–	+	–	L3
<i>Cygnus bewickii</i>	+	+	–	–	+	+	+	–	–	+	–	+	–	L5; EU(EN); RF5
<i>Tadorna tadorna</i>	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	L4
<i>Anas strepera</i>	+	–	–	–	–	+	+	–	+	–	–	–	–	L3
<i>Anas acuta</i>	–	+	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	L3
<i>Aythya ferina</i>	+	+	–	–	–	+	+	–	–	+	–	–	–	EU(VU)
<i>Aythya fuligula</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	H(NTb)
<i>Aythya marila</i>	+	+	–	–	–	–	+	–	+	+	–	–	–	H(VUb)
<i>Clangula hyemalis</i>	+	+	+	+	+	+	+	–	+	+	+	–	+	H (ENw); EU(VU)
<i>Somateria mollissima</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	L3; EU(VU); H(ENw;VUb)
<i>Melanitta nigra</i>	+	–	–	–	+	+	–	–	+	+	+	–	+	H (ENw)
<i>Melanitta fusca</i>	+	–	+	–	+	+	–	+	+	–	–	–	–	H(ENw;VUb)
<i>Mergus serrator</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	EU(NT); H (VUb)
<i>Mergus merganser</i>	+	+	+	–	+	+	+	+	+	+	–	–	–	L4
<i>Haliaeetus albicilla</i>	+	–	–	–	+	+	+	–	+	–	–	–	–	RF5; L3
<i>Haematopus ostralegus</i>	+	+	+	–	–	+	+	–	+	–	+	–	–	RF3; L3
<i>Larus fuscus</i>	+	+	+	–	+	+	+	+	+	–	+	–	+	L2; EU(NT); H(VUb); RF2
<i>Hydroprogne caspia</i>	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–	RF3; H(VUb); L(B)

Notes. 1) IUCN Red List (2019): EN – Endangered; VU – vulnerable species; NT is a potentially vulnerable species; 2) Red Data Book of the Russian Federation (2020). Categories of the rarity status of objects of the animal world (RF): 0 – probably disappeared, 1 – endangered, 2 – decreasing in number and/or distribution, 3 – rare, 4 – undefined in status, 5 – restored and restored; 3) Helcom Red List of Baltic Sea species in danger of becoming extinct: Hb – list for breeding species, Hw – list for wintering species; CR – in critical condition; EN – endangered; VU – vulnerable species; NT is a potentially vulnerable species; 4) Red Data Book of Nature of the Leningrad Region. Animals (2018) (L): 0 – probably extinct; 1 – a species in critical condition; 2 – a species with a diminishing range and number; 3 – rare species; 4 – species with an undefined status; 5 – species restoring numbers; B – species included in the lists requiring attention ('bio-surveillance'); 6) Krg – Kurgalsky reserve & Narva Bay, BI – Berezoviye isl., MT – Maly Tyuters, BT – Bolshoi Tyuters, BF – Bolshoi Fiskar, V – Virgins, S – Seskar, KBL – Koporskaya Bay – Lebyazhy, G – Gogland, M – Mozshny, MI – Maly, R – Rodsher, Kt – Kotlin, Vrg – Vigrund.

We recorded the largest colonies of *Phalacrocorax carbo* at six sites: on the Kurgalsky Reef islets and the Reimosar island near the Kurgalsky Peninsula, on small islands near the Seskar Island, on Virgin Islands, on the Bolshoi Fiskar archipelago and to a lesser extent on the Berezoviye Islands (Fig. 1).

The main breeding areas of *Larus argentatus* were located at eight sites (Fig. 1): on the Kurgalsky Reef and Reimosar islands, on small islands near the Seskar Island, on Maly Tyuters, Rodsher, South and North Virgin Islands, on the Bolshoi Fiskar and Berezoviye archipelagos. We

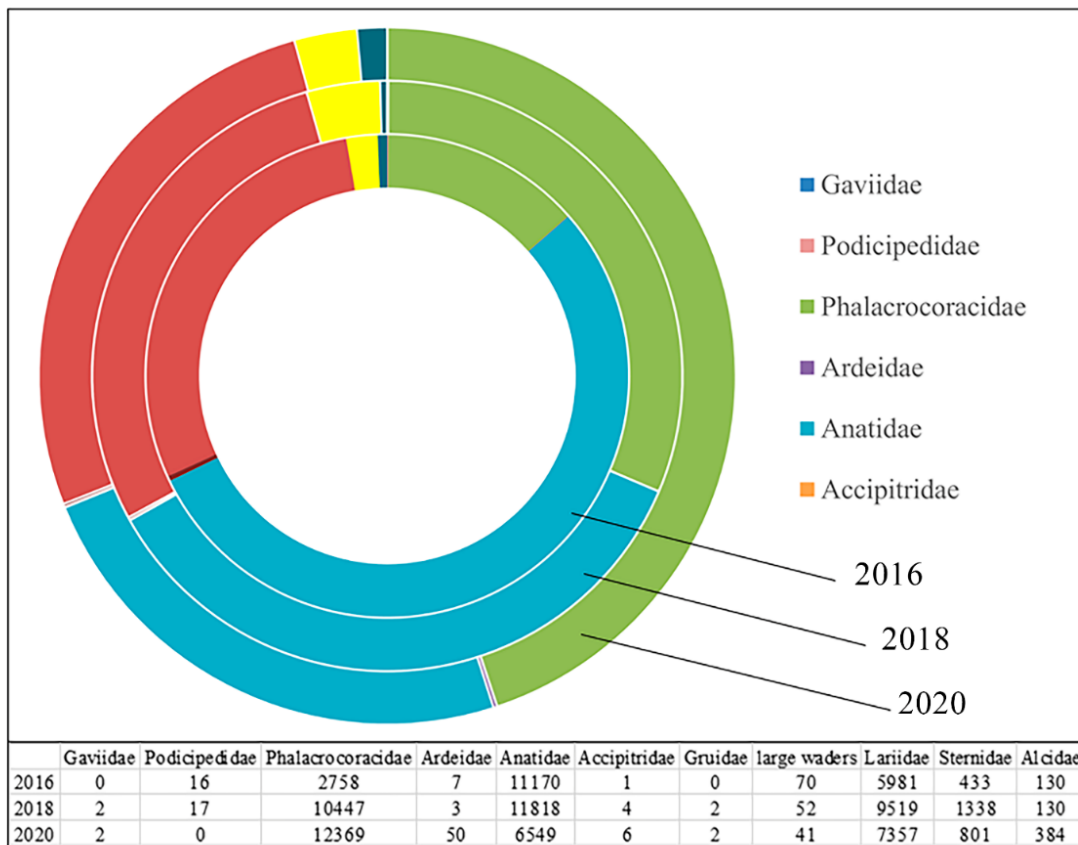


Fig. 3. The number of different birds in the years of aerial counts

recorded tern colonies on the sandy spit of the Kurgalsky Reef, on Maly Tyuters, Virgins and Rodsher islands. *Chroicocephalus ridibundus* and *Larus canus* colonies were found on the Maly Tyuters Island. Moreover, *Larus canus* often used rocky stones as a restplaces on the Gogland Island coastal zone.

Phalacrocorax carbo, *Alca torda* and *Uria aalge* colonies were recorded on the North Virgin Island. Large *Alca torda* colony (143 birds in 2020) has also been recorded on Rodsher Island too. Small colonies of *Larus fuscus* were fixed on Moshnyi, Kokkor (near Moshnyi), Bolshoi Fiskar, Berezoviye islands. At the same time, this species was not registered on the Rondo Island (Berezoviye Islands archipelago) in 2020, however, this species had had a large colony in previous years there (Bublichenko, 2007b). Several pairs of *Anser anser* and *Branta leucopsis* were recorded on the Bolshoi Fiskar and Berezovye Islands archipelago (Zvenyevoy and Rondo islands) in 2018–2020.

The aerial survey method also proved to be quite accurate for determining the number of *Cygnus olor* breeding pairs. For instance, not only the nests themselves were clearly visible, but birds with broods on the water. Nests (in 2016–2020) and broods (in 2020 only) were found on “Kurgalsky” reserve, Bolshoi Fiskar, Maly, Maly Tyuters, Seskar, Mozshy, Rondo islands.

The research team encountered with *Haliaeetus albicilla* annually. The most preferable foraging sites in spring are Kurgalsky Reef, Seskar, Halikarty, Bolshoi Fiskar (Fig. 4), Maly Tyuters, Berezoviye islands. Data obtained confirm the results of our observations in 2019–2020 and the information from other authors (Sagitov, 2012; Kouzov et al., 2014; Pchelintsev, 2016) which were carried out during the route counts and counts from vessels. It is known, that this species has nests on the Kurgalsky Peninsula, Kokkor and several other islands, probably (Kouzov et al., 2014; Pchelintsev, 2016). So, in 2020 we found one nest of *Haliaeetus albicilla* on the Gogland Island and one pair on the Maly Tyuters Island.



Fig. 4. White-tailed eagles on the Bolshoi Fiskar Island on 02.06.2020

In 2020, we registered an increase in the *Casmerodius albus* number (44 individuals per two-day counting), whose numbers in the Gulf of Finland significantly increased in recent years (Kouzov et al., 2019). So, from 1 (Golovan, 2011) to 7 *Casmerodius albus* (Dombrovsky, 2015; Golovan et al., 2015) were recorded in 2011–2015 in the observation area during the spring migrations in 2011–2015.

During the aerial surveys, other bird species were also recorded: *Podiceps cristatus*, *Ardea cinerea*; *Grus grus*, *Fulica atra*, *Larus marinus*, *Haematopus ostralegus* etc.

Due to the fact that the spring migration of sea birds, waterfowl and shore birds is very extended in this region (from the end of March to the end of May-beginning of June) (Bubluchenko, Kozlov, 1998; Bojarinova, Bubluchenko, 2001; Buzun, 2001; Rychkova, 2009; Rymkevich, 2009; Pyatraitis, 2014; Noskov et al., 2016) we did not try to reveal the timing of mass migrations during the observation period, but to determine the most important stopovers in this part of the Gulf of Finland, detect whether migratory birds still stop here and whether they fly by transit here. Besides, we wanted to count how many bird colonies exist on investigated area nowadays.

We registered the largest bird stopovers on shallow waters and coastal areas: Koporskaya Bay, Narva Bay, Kurgalsky Peninsula with the Kurgalsky Reef islets, Seskar, Moshnyi, Maly, Maly Tyuters, islands, the Berezovye Islands and the Bolshoi Fiskar archipelagos, the area of the Lebyazhye-Chernaya Lakhta mainland coast (Fig. 5, 6). Small flocks were also registered near Bolshoy Tyuters, Rodsher, Gogland, Kotlin, South and North Virgins islands. It is important that Maly Tyuters, Rodsher, South and North Virgins and Kurgalsky Peninsula are situated near the gas pipe line. Besides, a lot of resting and feeding sites were located in numerous shallow waters around those and other investigated islands of the Gulf of Finland and on mainland coastal areas; somewhat less often – on single large stones protruding from the water, or on banks. Mass migrations of sea ducks were recorded in Narva Bay, near the Bolshoi Fiskar archipelago and near Seskar and Moshnyi islands shallow waters.

We also paid attention to whether transit bird flocks flying in the gas pipeline “NordStream 2” construction area in the Narva bay and open water area. About 10–15 flocks we registered each day of aerial counts during all years of observations. The most numerous were *Anser anser*, *A. albifrons*, *Branta leucopsis*, *Clangula hyemalis*, *Phalacrocorax carbo*, *Melanitta sp.*, *Larus argentatus*.

More detailed results of our observations about migratory and breeding birds from the main sites in the Russian part of the Gulf of Finland are presented below.

The Kurgalsky peninsula together with the adjacent **Kurgalsky Reef and Reymosar islands** is a unique habitat for many bird species, including waterfowl and shore birds. The Kurgalsky

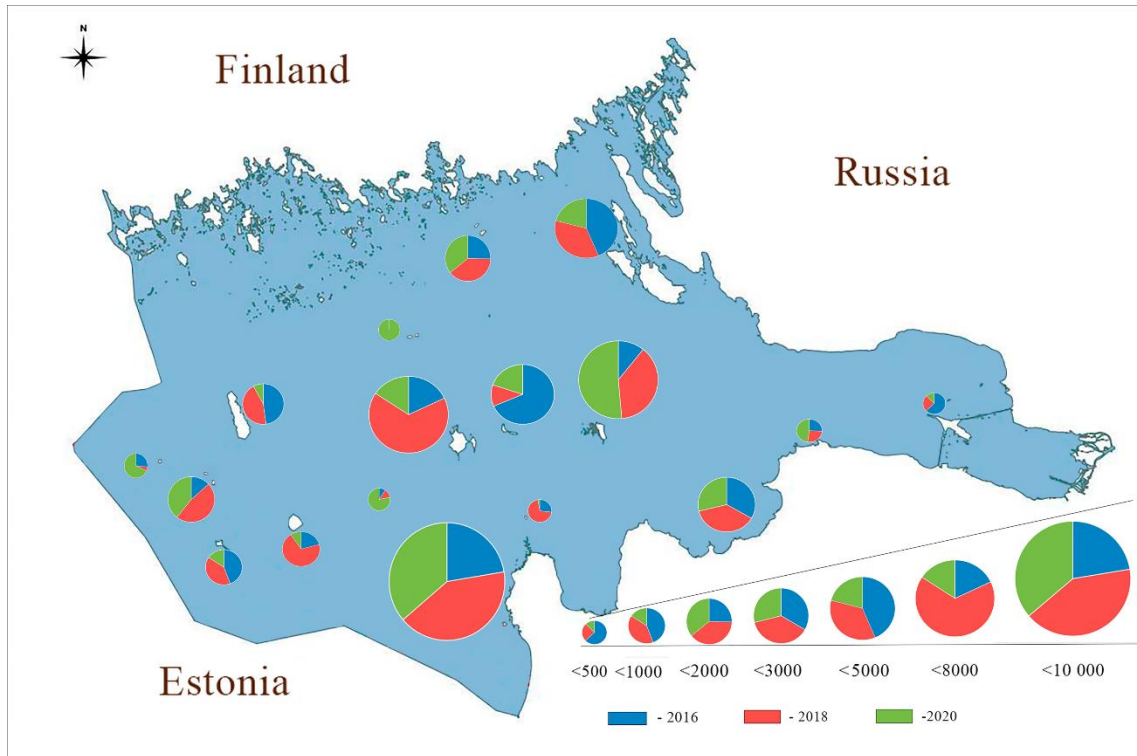


Fig. 5. Ratio of bird numbers in the investigated area during the observation period 2016–2020

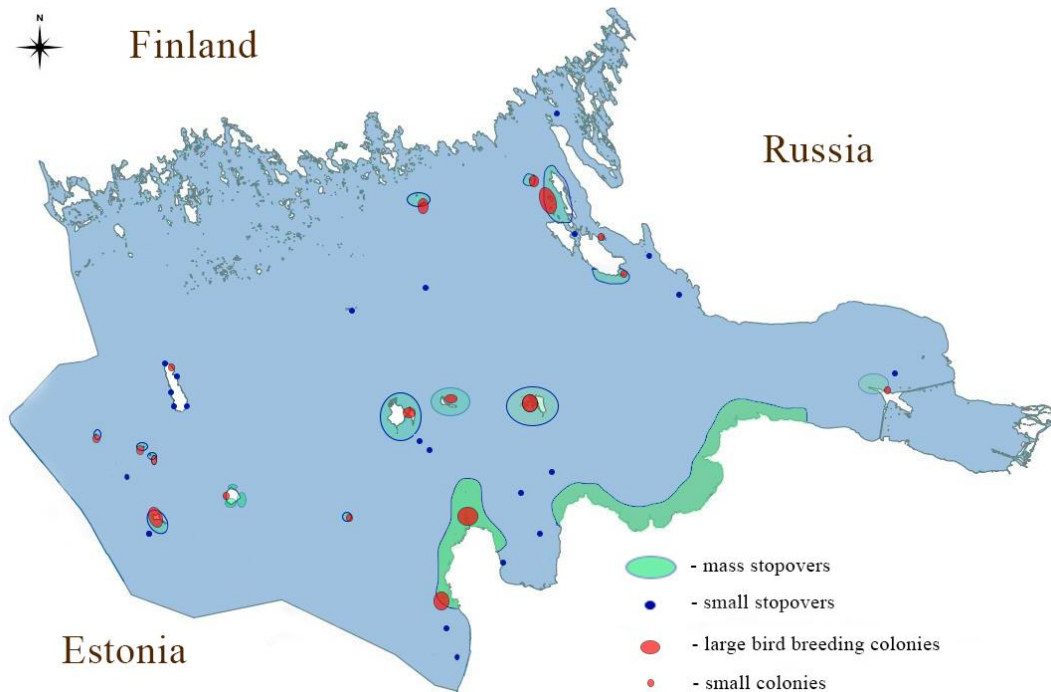


Fig. 6. The most important stopovers and breeding colonies in the Russian part of the Gulf of Finland allocated in accordance with the results of aerial surveys

peninsula is located on the border with Estonia. The entire surveyed coastal area and small islands surrounding the peninsula are the part of the “Kurgalsky” Nature Reserve, one of Important Bird Areas (IBA) and Ramsar sites in Russia. Its southern coastline is crossed over by the gas pipeline. But the most important reserve areas, most suitable for breeding the majority of rare water birds, are located in the northern and north-western parts of the reserve. The nearest site to the gas pipeline, valuable for breeding birds and migratory stopovers, is the Reimosar Island and adjacent area. However, this plot is located at a considerable distance from the gas pipeline route (more than 10 km).

The entire central part of the peninsula is covered with different types of forests. A significant part of the coast and adjacent islands are covered with coastal meadows, has many sandy beaches and rocky shoals suitable for both migratory stopovers and breeding birds.

The waterfowl and shore birds fauna is well studied here; monitoring of the avifauna has been continuing at the present time here (Bubluchenko, 2016b, Bubluchenko, 2016); Kouzov, Kravchuk, 2011, 2020; Pchelintsev, Chaadaeva, 2020, etc.). Over the previous research years, it was noted that a significant part of migrants (e.g. *Melanitta nigra*, *M. fusca*, *Clangula hyemalis*, geese, arctic waders) fly by transit through the peninsula, making their main stopovers near the Moshnyi, Seskar and Maly islands (Noskov, 1997, 2002; Noskov, Rymkevich, 2014, 2016; Noskov et al., 2016). However, shallow waters around the Kurgalsky Reef are also a habitat for a number of not only breeding but also for migratory species too. Besides, Narva Bay and Ust-Luga Bay (despite the Ust-Luga port operation) aquatic area are very important for migrants.

The total bird number registered near the Kurgalsky Peninsula was about 9 000 individuals for two days of counting per year in 2018–2020 (Fig. 5). In total, 30 species from 5 orders were recorded off the coast of the Kurgalsky Peninsula. Three bird groups dominated here: Pelecaniformes (*Phalacrocorax carbo*, up to 64 % of the total number of registered birds in different years), Anseriformes (up to 20 species, 16–25 %) and Charadriiformes (up to 8 species, 30–35 %).

Among the Anseriformes (migrants and non-breeding birds) dominated: *Branta leucopsis*, *Anser anser*, *Anas platyrhynchos*, *Anas (Mareca) penelope*, *Clangula hyemalis*, *Bucephala clangula*, *Mergus serrator* and *Mergus merganser*. The largest flocks were: *Clangula hyemalis* (370) and *Bucephala clangula* (more than 600 birds per two days); they were recorded in Narva Bay and around Kurgalsky Reef mainly. Large flocks of *Cygnus bewickii* and *C. cygnus* were registered on 24.04.2016. Of all species of the order found, the *Cygnus olor* nests and broods turned out to be the most visible from aircraft: 13 nests were found in the Reserve area, and 6 were located on the Hangeloda Island on 26.05–2.06. 2020. The most numerous species from Charadriiformes order was *Larus argentatus* (up to 78 % of all gulls and terns). Large *Larus argentatus* and tern colonies were registered both on Kurgalsky Reef islets and the Reimosar Island. Of all species recorded, 19 are included into Red lists of different ranks (Table 4).

The Berezovye Islands archipelago is a Protected Area, Important Bird Area and Ramsar site too. This area covers 83, 9 km² and located in the northern part of the Gulf of Finland. Islands are separated from the mainland by the Bjorkezund Strait. During the observation days, very few birds were recorded on the archipelago compared to previous years of research: from 2500 in 2016 up to 1 240 birds in 2020 per two-day counts, with the main share being the numerous species of *Larus argentatus* (47.7 %) and *Phalacrocorax carbo* (25 %). So, for example, in the mid-90s of the 20th century, up to 20 000–30 000 swans, up to 70 000 brent geese, up to 1 million ducks of 18 species per season were observed here (Noskov, 1998); in 2000-2005 years 12 duck species, five gull species (1500–2000 pairs), three tern species (300–500 pairs) etc. bred here (Bubluchenko, 2006, 2007a, Bubluchenko, 2007b).

Nowadays, 15–18 species were only recorded here during each season counts compared to 40 species (excluding waders) recorded 20–30 years ago (Noskov, 1998; Bubluchenko, 2006). It should be noted that 5–10 pairs of *Larus fuscus* only were recorded on the archipelago on observation days, whereas up to 400 pairs had been breeding here earlier (Bubluchenko, 2007). Small flocks of *Aythya fuligula*, *Clangula hyemalis*, *Bucephala clangula* and small stopovers of 3 swan species, *Aythya ferina*, *Anas (Mareca) strepera*, and two Merganser species were recorded on this area. However, 14 species of all the birds recorded are included into Red lists of different ranks (Table 4).

Maly Tyuters, Bolshoi Tyuters, Bolshoi Fiskar, Southern and Northern Virgins and Seskar islands are the part of the "East of the Gulf of Finland" Federal Wildlife Reserve.

The Maly Tyuters Island is the most southwestern of the outer islands of the Gulf of Finland. (59.810 N, 26.9086 E). Northern part is covered with pine forests, a significant part – with sand dunes. Extensive coastline is covered with sandy beaches, rocky shoals and seaside meadows. Though, the published data about migratory birds of that region is scarce (Sagitov, 2012), most of the flocks are known to fly through the islands and water area in transit. During the observations, about 300 birds of 13 species were recorded in 2020, during the aerial survey in 2016–250 individuals of 7 species, in 2018 – 756 birds from 12 species. The largest flocks at water area and coastline were recorded in *Anas platyrhynchos*, *Clangula hyemalis*, *Bucephala clangula*, *Somateria mollissima*, *Mergus serrator*, *M. merganser*, *Larus argentatus*; large *Melanitta nigra* and *M. fusca* flocks (more than 100-150 birds) were found on shallow waters far from the island (about 2 km to the West) in 2018–2020. Several *Branta leucopsis* and *Anser anser* flocks flew across the island by transit in 2016–2018. Several species started breeding here in 2020: *Cygnus olor* (one brood), *Chroicocephalus ridibundus* (at least 15–20 pairs) and *Larus canus* (5–7 pairs), *Sterna hirundo* (at least 20–25 pairs). Among birds protected in the region 9 species are included into Red lists of different ranks (Table 4).

The Bolshoi Tyuters Island (59.8605 N, 27.1945 E) is located approximately 15 km from the Maly Tyuters Island. It is a granite rock with an area of 8.3 km², about 2.5 km across. Its main part is occupied by forests (mainly pine and spruce forests). There are few shallow waters around, the coastal is narrow, covered in places with sand, but for the most part – with stony placers. The spring migration of waterfowl has never been studied here before, and the observation of the autumn migration performed in 1996 (Buzun, 2006) suggests that the majority of migrants go through the water area by transit without stopping to rest or feed on the water. During the observation period the data were different: 304 (2016), 1 022 (2018) and 138 (2020) birds from 9 species were registered there, but the most of flocks (about 60–77 %) consisted of *Phalacrocorax carbo*, *Larus argentatus* and other gull species. Not numerous duck flocks and single *Cygnus olor* stopovers were recorded. Seven species registered here are included in the Red Data Books of different ranks (Table 4), but 3 species from them (geese) registered in 2016–2018 flew the island by transit.

Southern and Northern Virgin islands (59.9485 N, 26.8539 E) are two small islands, with a total area of 4 ha, located 1900 meters from each other. The shape of the islands is almost even circles, coastal ridges of pebbles. Coarse-grained sands and boulders are almost devoid of vegetation. Despite the small area, islands and surrounding shallow waters proved well suited to the rest and feeding of migratory waterfowl. During the aerial counts, up to 1000 birds/season of 10-15 species were recorded here. *Larus argentatus* were recorded on the South Virgin mainly, and single birds resting on the shore or rocks; but the North Virgin Island is densely populated: *Phalacrocorax carbo*, *Cephus grylle*, *Alca torda*, *Larus argentatus* colonies, *Anser anser*, *Cygnus olor*, *Clangula hyemalis*, *Somateria mollissima* small stopovers were registered annually. *Cephus grylle* colony on the North Virgin Island is the only breeding site in this part of the Gulf of Finland. Bird number has increased several times in comparison with the number of the colony found here for the first time in 2007–2012 (Vysotsky, Verevkin, 2013). Seven out of the species registered here, are included into Red lists of different ranks (Table 4).

The Seskar Island (60.0230 N, 28.3777 E) is located 19 km from the southern mainland coast of the Gulf of Finland and has an area of 4.16 km². The central part of the island is the highest and is covered with pine forests. There is a rocky shoal with an area of 8 km² with less than 5 m depth at a distance up to 4–5 km to the west and north-west of the island; there are many small islets attracting birds not only during the seasonal migrations but also during the breeding period. The total number of birds recorded in the shallow water during the observation days was from 1500 individuals in 2016 (due to ice conditions and early surveys) up to 7700 in 2020; they were represented by 23–25 species. The most abundant species were *Phalacrocorax carbo* (more than 4300 birds in five large colonies were recorded in 2020), six *Larus argentatus* colonies (more than 500 pairs) and other Laridae and Sternidae species. We registered large stopovers of 10–14 Anseriformes species. *Anser anser*, *Anas platyrhynchos*, *Clangula hyemalis*, *Anas (Mareca) penelope*, *Bucephala clangula*, *Cygnus olor* and

C. cygnus, *Mergus serrator*, *M. merganser*, *Melanitta nigra* and *M. fusca* were the most numerous. The number of species listed in the Red Data Books of different ranks is quite high: 15 (Table 4).

The Bolshoi Fiskar archipelago (60.4063 N, 27.9381 E) is located in the north-eastern part of the Gulf of Finland and consists of several small rocky islands with almost no vegetation. During the observation period, almost 3000 birds from four orders were recorded annually on the archipelago. We observed migratory flocks of 8 Anseriformes species and found two large cormorant colonies (at least 200 pairs) and European Herring Gull colonies (about 250–300 pairs). *Anser anser*, *Branta leucopsis* and *Larus fuscus* were not numerous, but we recorded them annually. Three white-tailed eagles at the same time was an interesting encounter on the archipelago in 02.06.2020 (Fig. 4). The only record (26.05.2020) of *Hydroprogne caspia* which is extremely rare in the Russian part of the Gulf of Finland nowadays is of interest. The number of species included into Red Data Books of different ranks is quite high too (16) (Table 4).

Koporskaya Bay – Chernaya Lakhta – Lebyazhy mainland coast is very important for migratory bird monitoring. The mainland in this area is completely covered with forests, in some places – with extensive swamps. Most of the coast line is covered with reed beds, in some places there are narrow sandy and rocky shoals. Koporskaya Bay has extensive shallows suitable for rest and feeding of birds. “Koporskaya Bay” is one of the 10 Important Bird Area (IBA) of the Gulf of Finland (Kondratyev, 2000), and “Lebyazhy” is also a regional reserve. Despite this fact, the summer fauna according to aerial surveys was represented only by small colonies of different gull and tern species, but during the spring migration, more than 1600–1900 birds of 21–24 species were recorded here annually. *Gavia arctica*, *Ardea cinerea*, *Grus grus*, *Haematopus ostralegus*, flocks of *Podiceps cristatus*, *Casmerodius albus*, *Branta leucopsis*, *Clangula hyemalis*, *Anas (Mareca) penelope*, *Bucephala clangula*, *Cygnus olor* and *C. cygnus*, *Fulica atra* encounters are of interest. Besides, ten species of Anseriformes were recorded on the coast and water area. Seventeen species of all registered birds are included into the Red Data Books of different ranks (Table 4).

The Gogland Island (60.0660 N, 27.0000 E) is located 180 km west from Saint-Petersburg and 40 kilometers from Kotka. Its area is about 21 km², height – up to 176 m. The surface of Gogland is formed by many rock massifs covered with coniferous forests; the coast is indented with many deep bays. The complex of breeding and migratory waterfowl and shorebirds is weakly represented due to a lack of overgrown and heated shallow water areas, with good feeding and protection conditions (Noskov, Gaginskaya, 2006); almost the entire coast is rocky area, which is not suitable for bird breeding either. Migratory flocks of geese, black geese, swans, cranes, loons cross the Gogland Island by transit from west to east at a considerable height in spring (Antipin, Gaginskaya, 2006). During the observation period, bird numbers fluctuated from 92 birds (2020) to 500–900 (2016–2018). In our opinion, such a large difference is due to the timing of the counts: surveys in 2020 were carried out late enough for the mass migration in this region. In 2016–2018 gulls and cormorants had the highest number (about 50 %). The most numerous was *Larus canus* (about 100–200 individuals annually). Small duck stopovers (*Aythya fuligula*, *Mergus merganser*, *Bucephala clangula* mostly) and *Cygnus olor* and *C. cygnus* stopovers were recorded in shallow waters. Of all species recorded here, seven are included into Red lists of different ranks (Table 4), but some of them are numerous usually during the migration in the Russian part of the Gulf of Finland (*Aythya fuligula*, for example).

Small rocky **Rodsher Island** (59.9679 N, 26.6797 E) with gently sloping rocky shores is located right on the border of the Leningrad Region (and about 500–700 m from the Russian border). It has the size less than 180 by 80 meters. The number of birds recorded during the observation period was large enough for such a small area – from 200 birds (2016) to 500–650 (2018–2020) of 6–11 species for each two-day aerial counts per season. In 2018–2020 the congregations of *Alca torda* (143 birds) sitting on stones near their colony were particularly noteworthy. Their number increased several times in comparison with the number of the colony found in 2007–2012 for the first time (Vysotsky, Verevkin, 2013). Stopovers of five duck species, *Cygnus olor*, *Larus argentatus*, terns were common here. In total, eight species registered on the island are included in the Red lists of different ranks (Table 4).

The Moshnyi Island (60.0093 N, 27.8486 E) is situated 40 km west of the Gogland Island. The area is 13.4 km². The island consists of two parts connected by a narrow sandy isthmus. Both parts

are low, strongly indented and overgrown with coniferous forest. Rugged shores of the island and numerous shallow waters make it attractive for migratory and breeding waterfowl and seabirds.

During the observation days, 1400 (2016)–8000 (2018) birds of 21–26 species were recorded on the coast and in the shallow waters area. The most numerous were cormorants (up to 17, 4 % of the total number of registered birds), Anseriformes birds (46, 3–57, 8 % in different years), gulls and terns (up to 26, 9 %). *Clangula hyemalis*, *Bucephala clangula*, *Somateria mollissima*, scooters, *Aythya fuligula* had the largest stopovers here. *Anser anser* stopped in small flocks, usually no more than 8–12 birds (but their total number varied within 100–110 individuals annually). *Larus argentatus* colonies (up to 150 pairs) were found, 1–3 *Cygnus olor* pairs were recorded. The number of species listed in the Red Data Books of different ranks was 15 (Table 4).

The Maly island (60.0221 N, 28.0294 E) is located between Moshchny and Seskar islands, and six km east from the Moshchny island. The island is covered with forest, divided into three parts by narrow isthmuses. Isthmuses can be flooded when the water rises. The north coast is indented by many bays. Narrow coastline is predominantly sandy or sandy-stony. We registered about 1000–2000 birds during the counts annually. It is interesting that the maximum number of birds was recorded in April, unlike other islands. 8–20 species were recorded in different years. *Phalacrocorax carbo* and *Larus argentatus* were the most numerous (up to 19 % and 8, 8 %, respectively). A lot of transit flocks were registered near the island on 13.05.2018: *Branta bernicla*, *Anser anser*, *Anas (Mareca) penelope*, scooters, mergansers. We fixed large stopovers of *Bucephala clangula*, swans (3 species) in 2020, *Mergus merganser* and *Melanitta nigra* – in 2018. The number of species listed in the Red Data Books of different ranks is 12 (Table 4).

The Kotlin Island (60.0118 N, 29.7336 E) is located 30 km west of the center of Saint-Petersburg. Its area is 16 km². Kronstadt is situated in the eastern part of the island. The West Kotlin Nature Reserve of regional conservation significance is located on the western side of the island area. 4–6 species with a total number of 150–386 birds were noted on Kotlin Island annually. However, it is possible that a small number of birds recorded is due to the impossibility of their fixation among the aquatic and near-water vegetation.

The Vigrund Island (59.7799 N, 27.7442 E) is a little rocky island (1 hectare) located in 1.5 km from the coast of the Kurgalsky Peninsula. It is a cluster of the "East of the Gulf of Finland" Wildlife Reserve also. Four–six species (up to 220–240 birds) were registered on the Vigrund island and nearest shallows annually. We registered two breeding colonies here: *Larus argentatus* (up to 60 nests) and *Phalacrocorax carbo* (7–10 nests).

On Kotlin and Vigrund islands, no significant species diversity and high numbers of migrants and breeding birds were recorded during the aerial counts. But the total number of species registered during the observation period varied within 12 and 13, respectively. On both islands, gulls and cormorants accounted for up to 70–80 % of the total bird number. However, the number of species included into the Red Data Books of different ranks was five for the Kotlin and seven – for the Vigrund (Table 4).

We would like to emphasize that despite the differences in the accounting methods of other researchers in this area, the data obtained generally coincide both in the number of registered species (we mean only those species that are actually taken into account during aerial surveys) and in the migration sites and large bird colonies locations. So, for example, during the spring observations ten Anatidae species were registered on the Seskar Island (Rychkova, 2010), and during aerial surveys they varied from 10 to 14 in different years. There are no exact data on spring migrants in the materials justifying the creation of the Ingermanlandsky State Nature Reserve (later "Eastern Gulf of Finland" Wildlife Reserve), but the surveyed islands we listed are the most valuable for both migrants and breeding birds (Sagitov, 2012). The research indicates that large stopovers were observed in the shallow waters of Seskar, Maly Tyuters, Virgins, Long Stone islands. Especially numerous were *Anas platyrhynchos*, *A. penelope*, *A. acuta*, *A. crecca*, *Aythya fuligula*, *Bucephala clangula*, *Clangula hyemalis*, *Melanitta nigra*, *M. fusca*, *Mergus merganser*, *M. serrator*, geese, swans; gulls – *Larus argentatus*, *L. canus*, *L. fuscus*, *Chroicocephalus ridibundus*. Large breeding colonies of *Phalacrocorax carbo*, *Larus argentatus* and *L. fuscus* were registered on Seskar and Bolshoj Fiskar islands. Vulnerable avifauna species, listed in Red Books of various ranks, included

30 species in all Russian islands investigated in 2010–2013 (Sagitov, 2012; Kouzov et al., 2013). The results of our research confirm these data. The data on the timing of waterbird migration, given by V. A. Buzun (2001), also correspond to the information obtained during our aerial surveys. The number of large bird species registered during ship-based surveys near the Russian islands of the Gulf of Finland on May, 20–24, 2013 was 43 (total number of species registered was 61, Kouzov et al., 2013), which also correlates with our data. The importance of Moschny and Seskar islands as well the “Kurgalsky” Nature Reserve as sites of mass stopovers is highlighted in this paper, which also corresponds to the data obtained.

However, from our point of view, it is incorrect to compare the number of species registered by different methods and with different duration of observations. So, there were mass stopovers of *Anas acuta* (≥ 4000) on the Seskar Island during the period 26.04.2005–7.06.2005 (Rychkova, 2010), but we did not observe this species in 2016–2020. At the same time, the total number of *Bucephala clangula* in 2005 was 1000 birds per season, but we registered 820 birds during 2 days only in May, 2020.

DISCUSSION AND CONCLUSION

Our results have shown some specific trends of locations of migratory bird stopovers and breeding avifauna diversity in studied area. Thus, based on the data obtained during the aerial surveys which we carried out within 3 years in the Russian part of the Gulf of Finland, it can be stated that there are 14 main sites of migratory bird stopovers in the surveyed area. Fifty three bird species from eight orders stop for resting and feeding here in spring annually. The largest sites of migratory bird stopovers are located near the Kurgalsky Peninsula, the Bolshoi Fiskar archipelago, around Moshnyi, Maly and Seskar islands, in the “Koporskaya Bay-Lebyazhy” mainland coast. The coastline and islands near the Kurgalsky Peninsula, the Berezovye Islands and Bolshoi Fiskar archipelagoes, Moshnyi, Seskar, Maly, Rodsher, North and South Virgins, Maly Tyuters islands and, to a much lesser extent - Bolshoi Tyuters, Gogland, Kotlin, Vigrund – are important for breeding waterfowl and shore birds too. The main locations of the migratory stopovers and the location of waterfowl and shorebirds colonies are shown in Figure 6. All these sites are very important for many rare species protected both in the Baltic region and Russia.

As a rule, birds fly by transit through the surveyed islands in mid – late April mainly, when the ice on the Gulf of Finland is not melted. The timing of the final destruction of the ice cover, which differs in different years, determines the beginning of mass migration. On the days of observation, the highest migratory activity was in mid-May.

Aerial photography showed the possibility of aerial counts of large nests both in colonies and single nests; our observations revealed that the most cormorants, mute swans and herring gulls started breeding in early May, first *Cygnus olor* broods were also clearly visible from the aircraft and were registered in beginning of June.

The data obtained revealed a sharp decrease in the number of migratory and breeding birds in the Berezovye Islands archipelago in comparison with previous years of observations (Noskov, 1998; Bubluchenko, 2006, 2007a, Bubluchenko 2007b). A serious negative impact on the biodiversity both migratory and breeding birds last years, on our opinion, is associated with the activities of two ports – Primorsk and Vysotsk – located in close proximity to the Reserve. At the same time, the data obtained showed that the gas pipeline construction didn't affect either the formation of migratory bird stopovers, or the composition and number of breeding birds of the islands of the Gulf of Finland and the “Kurgalsky” nature reserve. The rest of the surveyed sites had approximately the same species composition in all years of research (Sagitov, 2012; Kouzov et al., 2013; Shilin et al., 2014; our unpublished data). However, the number of migratory birds varied depending on the time of observation, weather conditions and the degree of ice melting.

Rare species included into the Red Data Books of various ranks were found on the Kurgalsky peninsula, the Koporskaya Bay, Moshnyi and Seskar islands, the Bolshoi Fiskar archipelago and on the Rondo Island (Berezovye Islands archipelago). It is necessary to emphasize a catastrophic decrease in the number of *Larus fuscus* in comparison with previous years of research (Noskov et

al., 1995; Bublchenko, 2007b) as well as throughout the range of this species (Hario et al., 2004; Cherenkov et al., 2007; Varty, Tanner, 2009). The reasons of this problem are not completely clear, and can be associated both with natural population dynamics and with local deterioration of conditions in the breeding colonies areas, as it was mentioned above for the Berezovye Islands archipelago. However, an increase in the abundance of *Alca torda* and *Uria aalge*, which are rare in the Russian part of the Gulf of Finland, should also be noted.

Nowadays many changes in avifauna are mostly caused by the human activity. For the successful biodiversity conservation, it is necessary to monitor the most important sites both for breeding and migratory birds, to control and manage the processes of anthropogenic activities (construction, fishery, tourism etc.) in such a vulnerable ecosystem as the Gulf of Finland.

Acknowledgments. The observations were conducted with financial support from “Nord Stream 2 AG”, the project company established for planning, construction and subsequent operation of the Nord Stream 2 Pipeline, and JSC “Rosterminalugol”. Authors are grateful to S.V. Brilyakov for the help in collecting the photo material on May, 2020.

This study was performed in the frames of the state research project of Zoological Institute of RAS № 122031100282-2 (Russian Federation).

References

- Aerial Surveys for Waterbirds and Seabirds in South West England and Wales: Autumn 2007 / WWT Consulting Wildfowl & Wetlands Trust Slimbridge. Glos. GL2. 7BT. – England, 2008. – 11 p.
- Antipin M. A., Gaginskaya, A. R. Observations of the bird migrations on the island of Gogland // Thesis of International Symposium 14–16 March 2006, Saint Petersburg, Russia: Migration paths and stopovers of birds in Eastern Fennoscandia. – Saint-Petersburg, 2006. – P. 7–8. [In Russian]
- Bakó G., Tolnai M., Takács Á. Introduction and Testing of a Monitoring and Colony-Mapping Method for Waterbird Populations That Uses High-Speed and Ultra-Detailed Aerial Remote Sensing // Sensors. – 2014. – 14. – P. 12828–12846.
- Bojarinova J. G., Bublchenko J. N. Spring bird migration on the northern coast of the Gulf of Finland (in the vicinity of the settlements of Diuny-Solnechnoe) // Proceedings of the Programme “Study of the Status and Trends of Migratory Bird Populations in Russia. Third issue. – Saint-Petersburg: 2001. – P. 81–92.
- Bublchenko J. N., Kozlov I. L. Observations on Waterbird Migration at the Koorgalsky Peninsula in April-May, 1997 // Proceedings of the Programme “Study of the Status and Trends of Migratory Bird Populations in Russia. Second issue. – Moscow: 1998. – P. 70–76.
- Bublchenko A. G., Bublchenko J. N. Methods for monitoring condition and number of vertebrate populations on the coasts and islands of the Russian part of the Gulf of Finland // Regional Ecology. – 2015. – N 4 (9). – P. 106–125.
- Bublchenko J. N. On the avifauna of the southern coast of the Gulf of Finland // Russian ornithological journal. – 2000. – Vol. 107. – P. 6–20. [In Russian]
- Bublchenko J. N. Bird migration on the Berezovije islands of the Gulf of Finland // Proceedings of the Programme “Study of the Status and Trends of Migratory Bird Populations in Russia. V issue. – Saint-Petersburg: 2006. – P. 47–51.
- Bublchenko J. N. Waterfowl of the Berezoviye Archipelago of the Gulf of Finland // The IVth International Symposium “Dynamics of Game Animals populations in Northern Europe. – Petrozavodsk: 2007a. – P. 48–55.
- Bublchenko J. N. Birds // In: Natural environment and biodiversity of the Beryozovye islands archipelago (Gulf of Finland) / N. N. Tsvelev (Exc. Ed.). – Saint-Petersburg: Boston-Spectr, 2007b. – P. 289–316. [In Russian]
- Bublchenko J. N. Breeding habitats of the coastal zone of the eastern part of the Gulf of Finland // Regional ecology. – 2014. – Vol 1–2 (35). – P. 56–61. [In Russian]
- Bublchenko J. N., Kouzov S. A. Ornithocomplexes of waterbirds of the eastern Gulf of Finland: current status, trends, dynamics and man-made threats // Materials of XVI Baltic Sea Day Environmental Forum. – Saint-Petersburg: 2015. – P. 105–107.
- Bublchenko J. N. The Great Cormorant (*Phalacrocorax carbo sinensis*) expansion into the Western part of the Gulf of Finland, Russia // Materials of the 13 the International Seabird Group Conference. – Edinburgh, 2016a. – P. 67.
- Bublchenko J. N. The Great Cormorant (*Phalacrocorax carbo sinensis*) in the Eastern part of the Gulf of Finland, Russia. // Trilateral Scientific Forum «Gulf of Finland». – SYKE publ., Helsinki, 2016b. – P. 48.
- Bublchenko J. N. New rare bird encounters in the south of the Kurgalsky reserve (Leningrad region). // Russian ornithological journal. – 2016c. – Vol. 25 (1328). – P. 3125–3133. [In Russian]
- Bublchenko J. N., Verevkin M. V. Aerial survey of waterfowl spring stopovers in the Russian part of the Gulf of Finland. From small scales to large scales // The Gulf of Finland Science Days. – Tallinn, 2017. – P. 49.
- Bublchenko J. N., Verevkin M. V. Results of aerial surveys of waterfowl in the Russian sector of the Gulf of Finland // Thesis of 1st All-Russian Ornithological Congress. – Tver, 2018. – P. 43–44.

- Bubluchenko J. N. Ways to save the avifauna of the Kurgalsky reserve in connection with the construction of the Nord Stream-2 gas pipeline // In: Materials of All-Russian conference with international participation, dedicated to the 120th anniversary of Professor G. P. Dementyev "Ornithology: history, traditions, problems and prospects" / [Eds. V. M. Gavrilov et al.]. – MSU publ., M. 2018. – P. 54–61. [In Russian]
- Bubluchenko J. N., Golubkov S. M., Kiyashko P. V. [Eds.] Red Data Book of Nature of the Leningrad region. Animals. – Saint-Petersburg: Papyrus, 2018. – 560 p. [In Russian]
- Bubluchenko J. N., Bubluchenko A. G. Bird and mammal fauna of the Gulf of Finland region. – Saint-Petersburg: SPbSEU publ., 2020. – 219 p. [In Russian]
- Bubluchenko J. N., Bubluchenko A.G. Bird and marine mammal fauna on the islands along the route of the Nord Stream 2 Gas Pipeline during its construction in the Russian Part of the Gulf of Finland // The Gulf of Finland Science Days 2021: “New start for the Gulf of Finland co-operation”. – Tallinn: Estonian Academy of Sciences, 2021. – P. 36–38.
- Buzun V. A. Spring bird migration in the Vyborg Bay (the Gulf of Finland) in 1998 and migration ways schematic analysis // Russian ornithological journal. – 2001. – Vol. 129. – P. 31–59. [In Russian]
- Buzun V. A. Autumn fly-over of birds over the central part of the Gulf of Finland (Bolshoi Tyuters island) in 1996 and features of migration over the high seas. Migration of loons *Gavia* spp. and long-tailed ducks *Clangula hyemalis* in a broad front // Russian ornithological journal. – 2006. – Vol. 15 (327). – P. 747–769. [In Russian]
- Certain G., Bretagnolle V. Monitoring seabirds population in marine ecosystem: The use of strip-transect aerial surveys // Remote Sensing of Environment. – 2008. – Iss. 112. – P. 3314–3322.
- Cherenkov A., Semashko V., Tertitski G. Current status and population dynamics of nominate subspecies of Lesser Black-backed Gull *Larus fuscus fuscus* in the White Sea // Ornithologica. – 2007. – Vol. 17. – P. 29–36.
- Concepts of Aerial Photography. 2019. Available from: <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/satellite-imagery-air-photos/air-photos/national-air-photo-library/about-aerial-photography/concepts-aerial-photography/9687>
- Delany S. Guidance on waterbird monitoring methodology: Field Protocol for waterbird counting. Wetlands International Black Sea Programme. – Moscow: Wetlands publ., 2011. – 64 p.
- Dombrovsky K. Yu. Observation of the Great White Heron *Casmerodius albus* in the Strupovo village (lower reaches of the Luga River) // Russian ornithological journal. – 2015. – Vol. 24 (1153). – P. 2059–2060. [In Russian]
- Iovchenko N. P., Noskov G. A., Gaginskaya A. R., Rymkevich T. A., Rezvy S. P. New data about the avifauna of islands of the eastern part of the Gulf of Finland. In: Birds and mammals of the North-West of Russia (ecological and faunal studies) // Proceedings of the Biological Research Institute. – Iss. 48. – Saint-Petersburg: SPbSU publ., 2002. P. 99–120. [In Russian]
- Iovchenko N. P., Gaginskaya A. R., Kovalev D. N., Smirnov O. P. Results of air-surveys of migrating birds on the stopovers in the northern part of the Leningrad region (May 6, 2002) // Study of the dynamics of the migratory bird populations and its trends in north-west Russia. – Saint-Petersburg, 2006. – Iss. 5. – P. 39–42.
- Iovchenko N. P., Gaginskaya A. R., Noskov G. A., Rezvy S. P. Results of an ornithological survey of the islands of the Gulf of Finland in 1994–1995 // Russian ornithological journal. – 2017. – Vol. 26 (1528). – P. 4884–4902. [In Russian]
- IUCN Red List: Available from: <https://www.iucnredlist.org/>
- Gaginskaya A. R., Rychkova A. L. Seasonal distribution of yearling cormorants *Phalacrocorax carbo sinensis* from the nesting colonies of the Russian part of the Gulf of Finland (according to ringing) // Russian ornithological journal. – 2011. – Vol. 20 (633). – P. 319–326. [In Russian]
- Gaginskaya A. R., Noskov G. A. [Eds.] Gogland Island. Results of the study of natural systems. – Saint-Petersburg: Tuskarora, 2006. – 47 p. [In Russian]
- Golovan V. I. Observation of the Great White Heron *Casmerodius albus* on the southern coast of the Luga Bay // Russian ornithological journal. – 2011. – Vol. 20 (663). – P. 1143–1144. [In Russian]
- Golovan V. I., Rezvy S. P., Savinich I. B. About observations of the great white herons *Casmerodius albus* in the east of the Gulf of Finland in 2013–2015 // Russian ornithological journal. – 2015. – Vol. 24 (1190). – P. 3339. [In Russian]
- Hario M., Hirvi J.-P., Hollmén T., Rudbäck A. Organochlorine concentrations in diseased vs. healthy gull chicks from the northern Baltic // Environmental Pollution. – 2004. – Vol. 127 (3). – P. 411–423.
- Kondratyev A. V. Key bird areas of the Baltic region of Russia. Kaliningrad and Leningrad regions // Key bird areas of Russia. Russian Bird Conservation Union. / A.V. Kondratyev (Ed.). – Saint-Petersburg, 2000. – P. 86–87. [In Russian]
- Kontio Korpi J. Vyborg, Russia – the Arctic Migration // Alula. – 2000. – N 1. – P. 8–15.
- Kontio Korpi J., Parviainen A. Spring migration of arctic waterfowl from Vyborg and Repino (Russia) in spring 1993 // IWRB Seaduck Research Group Bulletin. – 1995. – 5 iss. – P. 25–29.
- Kontula T., Haldin J. [Eds.] HELCOM Red List of Baltic Sea species in danger of becoming extinct // Baltic Sea Environment Proceedings. – HELCOM, Helsinki; Finland: 2013. – N. 140. – 106 p.
- Kouzov S. A., Kravchuk A. V. Key features of the population of waterfowl of the coastal zone of Kurgalsky Peninsula (eastern part of the Gulf of Finland) and its dynamics in 1990–2010 // Waterfowl of Northern Eurasia: geography, dynamics and population management. International Conference on Waterfowl of Northern Eurasia. – Elista, Russia. – 2011a. – P. 43–44. [In Russian]
- Kouzov S. A., Kravchuk A. V. Migration of Barnacle (*Branta leucopsis*) and Black (*B. bernicla*) Brant Geese through Kurgalsky peninsula and adjacent areas of the eastern part of the Gulf of Finland // Waterfowl of Northern Eurasia: geography, dynamics and population management. International Conference on Waterfowl of Northern Eurasia. – Elista, Russia. – 2011b. – P. 45. [In Russian]

- Kouzov S. A., Kravchuk A. V., Shirjaeva M. O. The first case of successful breeding of the Great Egret *Casmerodius albus* in the Leningrad region on the Kurgalsky Peninsula (near the Lipovo village) // Russian ornithological journal. – 2019. – Vol. 28 (1820). – P. 4221–4230. [In Russian]
- Kouzov S. A., Shilin M. B., Chusov A. N. Variety and vulnerability of ornithofauna in the eastern part of the Gulf of Finland in the Region of “Nord Stream” sea gas pipeline // Scientific notes of RGGMU. Ecology. – 2013. – Vol. 31. – P. 120–137. [In Russian]
- Kouzov S. A., Kravchuk A. V. The main features of long-term dynamics and spatial distribution of breeding communities of waterfowl in the eastern part of the Gulf of Finland // Ornithological research in northern Eurasia. Abstracts of the 15th International Conference of Northern Eurasia. – Minsk, 2020. – P. 251 [In Russian]
- Leito A. A. Status of the Dark-bellied Brant Goose *Branta b. bernicla* in the Baltic states // International Scientific Workshop “Towards European Management of the Dark-bellied Brant Goose *Branta b. bernicla* as a Game Species”. – Paris, 1999. – P. 26–30.
- Noskov G. A. Migration of waterfowl and shorebirds in the North-Western region of Russia and tasks of their study // Proceedings of the Programme “Study of the Status and Trends of Migratory Bird Populations in Russia”. – Saint-Petersburg, 1997. – P. 12–20.
- Noskov G. A. Berezoviye Islands of the Gulf of Finland of Baltic Sea // In: Wetland areas in Russia. / Wetlands International Publication. (V.G. Krivenko, Ed.). – M.: 1998. – N 1 (40). – P. 34–40. [In Russian]
- Noskov G. A. The main results of bird migration studies in the North-West Region of Russia // Proceedings of the Programme “Study of the Status and Trends of Migratory Bird Populations in Russia. 3 issue”. – Saint-Petersburg, 2002. – P. 62–78.
- Noskov G. A., Gaginskaya E. R., Haare A. O., Kamenev V. M., Bolshakov K. V. Migration of birds in the eastern Gulf of Finland. // Message of Baltic Commission on Migratory Birds Study N 3. – Tartu, 1965. – P. 3–27. [In Russian]
- Noskov G. A., Fedorov V. A., Gaginskaya E. R., Sagitov R. A., Buzun V. A. About the avifauna of the islands of the eastern part of the Gulf of Finland // Russian ornithological journal. – 1993. – Vol. 2 (2). – P. 163–173. [In Russian]
- Noskov G. A., Rezvy S. P. [Eds.] Atlas of migratory birds of the Leningrad region according to the ringing data. Saint-Petersburg, 1995. – 232 p. [In Russian]
- Noskov G. A., Rymkevich T. A. Migration systems of birds in the Gulf of Finland and tasks for their protection // In: Our Gulf of Finland. Materials of the 1st scientific conference of St. Petersburg State University dedicated to the “Year of the Gulf of Finland – 2014”. – Saint-Petersburg: BBM publ., 2014. – P. 169 – 174. [In Russian]
- Noskov G. A., Rymkevich T. A. St. Petersburg region in the system of migration routes of birds of the Western Palearctic // Materials of Karelian scientific center of the RAS. – Petrozavodsk, 2016. – N 1. – P. 45–56. [In Russian]
- Noskov G. A., Rymkevich T. A., Gaginskaya A. R. [Eds.] Bird migrations of the North-West of Russia. Non-Passerines. – Saint-Petersburg: ANO LA “Professional”, 2016. – 641 p. [In Russian]
- Pavlov D. S., Ed. Red Data Book of the Russian Federation. Animals. 2d Edition. FGBU “VNII Ecologia”. – M., 2021. – 1128 p. [In Russian]
- Pchelintsev V. G. On the number and some questions of large bird species of prey biology in the Leningrad region and adjacent territories // Russian Ornithological journal. – 2016. – Vol. 25 (1381). – P. 4858–4962. [In Russian]
- Pchelintsev V. G., Chaadaeva E. V. Bird migrations in the west of the Leningrad region // Ornithological research in northern Eurasia. Abstracts of the 15th International Conference of Northern Eurasia. – Minsk, 2020. – P. 386. [In Russian]
- Porter J. L., Kingsford R. T., Francis R., Brandis K. Aerial Survey of Waterbirds in Eastern Australia – October 2021 // Annual Summary Report. – Sydney, 2021. – 24 p.
- Putkonen T. A. Havaintoja lintujen kevatmuutosta Ayrapaanjarvella v. 1935 // Ornis Fennica. – 1936. – Vol. 13(2). – P. 70–79.
- Putkonen T. A. Valkoposki-hanhen, *Branta leucopsis* (Bechst.) kevatmuutosta Viipurin seudulla // Ornis Fennica. – 1940. – Vol. 17 (1). – P. 14–16.
- Putkonen T. A. Kevatmuutosta Viipurinlahdella // Ornis Fennica. – 1942. – Vol. 19 (2). – P. 33–44.
- Pyatraitis A. K. Spring bird migration at the Baltic Sea coast in Lithuania // Russian Ornithological journal. – 2014. – Vol. 23 (1018). – P. 2036–2039. [In Russian]
- Rintala J., Bublichenko J., Kouzov S. Seabirds. The Gulf of Finland assessment // Report of the Finnish Environment Institute, Helsinki. – 2016. – N 27. – P. 212–216.
- Rychkova A. L. Spring migrations of waterfowl and shorebirds in the sanctuary «Lebyazhy» (southern coast of the Gulf of Finland) in 2007 // Study of the dynamics of Migratory Bird Populations and its Trends in North-West Russia, 6 issue. – Saint-Petersburg, 2009. – P. 45–49.
- Rychkova A. L. Avifauna of the Seskar Island (the Gulf of Finland) // Ornithology in Northern Eurasia. – Orenburg, 2010. – P. 278. [In Russian]
- Rymkevich T. A., Rychkova A. L., Antipin M. A., Kotkin A. S. Spring migration stopovers in the Neva Bay, the Gulf of Finland // Study of the dynamics of Migratory Bird Populations and its Trends in North-West Russia. 6 issue. – St-Petersburg, 2009. – P. 6–26. [In Russian]
- Sagitov R. A. (Ed.). Materials of the comprehensive ecological survey of parts of the territory, justifying giving this area the legal status of specially protected natural territory of federal significance – State Natural Reserve “Ingermanlandsky”. – Saint-Petersburg, 2012. – 237 p. [In Russian]
- Shilin M. B., Kouzov S. A., Lange E. K., Litvinchuk L. F., Lukyanov S. V., Maximov A. A. The results of complex expeditionary research in the water area of the created state nature reserve “Ingermanlandsky” // Scientific notes of RGGMU. Ecology. – 2014. – Vol. 35. – P. 7–30. [In Russian]

Stehn R. A., Platte R. M., Marks D. K., King J. G., Groves D. J. Aerial surveys of birds near the grounded M/V Selendang Ayu on the northwest coast of Unalaska Island, Alaska, January 2005 // Preassessment Data Report. – 2008. – N 8.14 – Final Report. – 15 p.

Varty N., Tanner K. [Eds.] Background document for Lesser black backed gull *Larus fuscus fuscus* // OSPAR Commission. Biodiversity Series. – 2009. – 16 p.

Vassiljeva N. A. Migration of the Barnacle Goose *Branta leucopsis* on the northern coast of the Gulf of Finland in the autumn of 1992 and in the spring of 1993 // Study of the Status and Trends of Migratory Bird Populations in Russia. 3 issue. – St-Petersburg, 2001. – P. 60–63.

Vysotsky V. G., Verevkin M. V. Current status of seabirds and marine mammals of the Russian part of the Gulf of Finland // Report scientific session ZIN RAS based on works 2012. – St-Petersburg, 2013. – P. 11–12. [In Russian]

Бубличенко Ю. Н., Бубличенко А. Г., Веревкин М. В. Результаты весенних авиаучетов птиц в российском секторе Финского залива // Экосистемы. 2023. Вып. 36. С. 114–132.

В статье представлены результаты трех сезонов весенних авиационных учетов птиц в российском секторе Финского залива Балтийского моря, в том числе, в акватории семи особо охраняемых природных территорий (ООПТ) – Государственного природного заповедника «Восток Финского залива», Государственного природного заказника «Березовые острова», Государственного природного комплексного заказника «Кургальский», Государственного природного комплексного заказника «Выборгский», регионального комплексного природного заказника «Котельский», регионального заказника «Лебяжий», регионального заказника «Западный Котлин». Основными целями проводившихся работ были мониторинг известных ранее и выявление новых мест концентрации морских, водоплавающих и околоводных птиц в период весенней миграции; уточнение мест расположения крупных гнездовых колоний в данном регионе, а также оценка возможности изменения их современной локации, численности и видового состава птиц в связи с постоянно растущей антропогенной нагрузкой на экосистему Финского залива. Авиаучеты птиц проводились в апреле–мае–начале июня 2016–2020 годов. Общее время наблюдений составило более 39 часов (около 4,5 часов в день). Учеты проводились дважды за весенний период в 2016 и 2020 годах и четыре раза – весной 2018 года, с интервалом в 5–7 дней для получения более полных данных об изменениях в составе и численности птиц на миграционных стоянках, местах их расположения и фиксации начала размножения. В период наблюдений было зарегистрировано 81 509 птиц 53 видов из 8 отрядов; из них 24 вида включены в Красные книги разного ранга. При обработке первичного материала было проанализировано 18 066 фотографий, сделанных с борта самолета. Полученные данные показали, что во время весенней миграции в обследованном районе насчитывается 15 основных стоянок водоплавающих и околоводных птиц; также было выявлено 9 участков их массового размножения. Авиаучеты 2016–2020 позволили составить более полную картину о современной ситуации на весенних миграционных стоянках и местах размножения птиц на Финском заливе. Следует отметить, что столь детальные авиаучеты птиц на обширных участках акватории проводились впервые в этом регионе.

Ключевые слова: весенняя миграция, весенние миграционные стоянки, водоплавающие птицы, околоводные птицы, колония, размножение.

Поступила в редакцию 10.09.23

Принята к печати 04.10.23

Новые данные о распространении и численности некоторых охраняемых видов птиц Крыма

Бескаравайный М. М.

*Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН
Феодосия, Республика Крым, Россия
karavay54@mail.ru*

В период с 2015 по 2023 год уточнены распространение и численность в Крыму 26 охраняемых видов птиц (в том числе 18 гнездящихся), внесенных в красные книги Крыма, Севастополя и Российской Федерации. Важными для существования раритетной части гнездового орнитокомплекса являются два типа стадий: скалы (7 видов: хохлатый баклан, сапсан, балобан, белоголовый сип, сизый голубь, сизоворонка, розовый скворец) и внутренние водоемы (7 видов: серый гусь, огарь, морской зуек, ходулочник, шилокловка, малая крачка, зимородок). Водные биотопы используют во время зимовки, миграций и летних кочевок не менее 14 видов: относительно крупные сезонные скопления образуют серый гусь, огарь, савка, ходулочник, шилокловка, на морской акватории – чернозобая гагара и хохлатый баклан. Три вида (красавка, авдотка, черноголовая овсянка) отмечены в открытых биотопах, один (сипуха) – в антропогенных. Сохраняют свою роль, как резерваты охраняемых гнездящихся видов, заповедники Олукский (хохлатый баклан, балобан, морской зуек, ходулочник, шилокловка, сизый голубь, розовый скворец, черноголовая овсянка) и Карадагский (хохлатый баклан, балобан, сапсан, белоголовый сип, сизый голубь). На основании полученных данных выявлено два объекта, важных для сохранения раритетного орнитокомплекса: 1) озеро Кучук-Аджиголь (19 охраняемых видов: гнездятся серый гусь, морской зуек, ходулочник и малая крачка); 2) скальная гряда Сарак-Кая: в гнездовое время отмечены огарь, балобан, курганник, сапсан и сизоворонка.

Ключевые слова: птицы, охраняемые виды, гнездящиеся виды, сезонные скопления, распространение, численность, Крым.

ВВЕДЕНИЕ

Во втором десятилетии 21 века увидели свет первые издания красных книг двух новых субъектов Российской Федерации на Крымском полуострове – республики Крым (2015) и города федерального значения Севастополь (2018), в списки которых вошли, соответственно, 68 видов птиц (не менее 52 гнездящихся) и 11 видов (7 гнездящихся). В 2021 году вышло второе издание Красной книги Российской Федерации (2021), куда включено 55 видов и подвидов птиц (в том числе 33 гнездящихся), зарегистрированных в Крыму. В связи с этим, многолетний мониторинг распространения и численности этих видов, а также выявление территорий, важных для их сохранения, следует считать актуальными направлениями региональных орнитологических исследований.

За годы, прошедшие после выхода в свет первого из этих изданий – Красной книги Крыма, информация о видах птиц полуострова, внесенных в списки вышеуказанных красных книг, была существенно пополнена (Карякин и др., 2015; Кучеренко и др., 2017; Ластухин, 2017; Кузиков, 2021; Бескаравайный и др., 2022). В данной статье представлены материалы по некоторым охраняемым видам, полученные за этот период времени и включающие как новые, так и подтверждающие ранее установленные пункты их распространения, а в ряде случаев – существенно уточняющие численность и характер пребывания в Крыму. Цель настоящей работы – обобщение этой информации для использования в последующих изданиях указанных красных книг.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Использованы материалы наблюдений, проведенных в течение 9 лет – с 2015 (год издания Красной книги Крыма) до 2023 года, главным образом в горном Крыму, а также на

Керченском полуострове и в некоторых других районах равнинного Крыма. В список рассматриваемых в данной статье включены следующие виды: а) гнездящиеся, для которых установлены новые и подтверждены некоторые ранее известные пункты гнездования; б) зимующие, мигрирующие и кочующие, для которых выявлены места относительно крупных и постоянных сезонных скоплений, или существенно уточнены районы распространения и сроки пребывания в регионе.

Обследовались прибрежные районы и прилегающая акватория Черного моря от Феодосии до Севастополя, скальные обрывы Южного берега Крыма (далее ЮБК), Внутренней и Главной гряд Крымских гор, внутренние водоемы разных типов (соленые озера, водохранилища, пруды: всего 17 водоемов).

Учеты хохлатого баклана на береговых обрывах Карадагского заповедника проводились ежегодно в гнездовое время (апрель), на 4,5-километровом участке берега с катера. Численность видов, зимующих на морской акватории (чернозобая гагара, длинноносый крохаль, хохлатый баклан), определялась на вдольбереговых маршрутах 1–5 км (63 учета).

Ряд наблюдений на Керченском полуострове (учеты серого гуся, малого лебедя, огаря и красавки) проведен совместно с А. Б. Гринченко и Г. А. Прокоповым. Материалы, предоставленные орнитологами-любителями, принимались во внимание в тех случаях, когда они были подтверждены фотографиями, позволяющими однозначно идентифицировать вид.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Малый лебедь – *Cygnus bewickii* Yarrell, 1830 (ККРФ, ККРК)¹. Рост численности вида на юге России и Украины начался в первой половине 1980-х годов (Белик и др., 2012), в Крыму первые наблюдения сделаны в январе 1994 года (Мосалов др., 2002). В настоящее время это немногочисленный регулярно зимующий вид преимущественно равнинной части полуострова.

Наблюдения последних лет свидетельствуют о расширении района зимовки – новые пункты выявлены в восточном Крыму. В последние зимние сезоны, отличающиеся мягкими погодными условиями, вид регулярно зимует на озере Кучук-Аджиголь у села Береговое городского округа Феодосия, где наблюдался 19–27.01.2020 (5 особей), 21.11.2020–28.02.2021 (до 10), 28.11.2021–19.01.2022 (до 17) и 04.03.2023 (10, вероятно, перезимовавшие) (рис. 1). На расположенном восточнее, соседнем озере Аджиголь 27.12.2020 учтено 5 взрослых, на водохранилище Фронтное в западной части Керченского полуострова – 21.11.2020 и 16.01.2021 (соответственно 5 и 6 птиц).

На указанных водоемах держались как взрослые, так и молодые птицы: доля молодых составила в разные годы от 26,5 % до 41,7 %.

Серый гусь – *Anser anser* (Linnaeus, 1758) (ККРФ, ККРК). Достоверное подтверждение гнездования в Крыму получено в 1979 году (Лысенко, 1991), к середине 1990-х годов вид заселил Присивашье и некоторые водоемы Керченского полуострова, а в начале 2000-х годов численность резко упала (Гринченко, 2009; наши данные). Ошибочно вид приводится, как гнездящийся на озере Бараколь севернее Коктебеля (Костин, 2020), где по результатам регулярных обследований, изредка встречался только в периоды весенней миграции.

В последние годы выводки регистрировались на водоемах западной части Керченского полуострова и на Акмонайском перешейке: водохранилищах Самарли 29.04.2018 (4 выводка) и Фронтном 16.08.2018 (1), а также на озере Кучук–Аджиголь 03.05.2020 (4) и 10.05.2021 (8 выводков).

Сравнительно крупные сезонные скопления выявлены на озерах Кучук-Аджиголь в январе 2020 года (30–50 особей) и 14.06.2020 (30), Камышинский Луг у поселка Приморский городского округа Феодосия 28.12.2020 (22), на водохранилищах Фронтное 16.08.2018 (85), 09.02.2019 (35) и Самарли 16.01.2021 (85).

¹ Здесь и далее: ККРФ – Красная книга Российской Федерации, ККРК – Республики Крым, ККС – Севастополя.



Рис. 1. Группа малых лебедей на озере Кучук-Адджиголь (04.03.2023)

Огарь – *Tadorna ferruginea* (Pallas, 1764) (ККРК). В последние десятилетия численность на гнездовании в Крыму существенно снизилась (Гринченко, 2009).

Основная часть популяции сосредоточена на Керченском полуострове, где новые места гнездования отмечены у села Вулкановка (26.05.2021, выводок из 6 птенцов) и в 1,5 км к северо-западу от села Войково (26.05.2022, две пары, в том числе выводок из 6 птенцов). Подтверждено гнездование у села Яковенково (21.05.2016, выводок). Возможно гнездование на водохранилище Самарли (29.04.2018, пара) и озере Кучук-Адджиголь (11.06.2023, беспокоящаяся птица).

В предгорьях гнездящиеся огари ранее были обнаружены у села Вишенное Белогорского района и южнее Белогорска (Домашевский, 2008; Гринченко, 2009). После 2015 года встречались в Белогорском районе в 12–15 км западнее – на водоемах и у обрывов Внутренней гряды: два выводка – в районе села Русаковка (07.06.2021) и пары – у сел Ароматное (30.06.2021), Цветочное и Долиновка (18.05.2020). Группа из 7 птиц держалась 10.05.2022 на скалах хребта Сарак-Кая в 3 км юго-западнее села Мироновка. В Симферопольском районе выводок наблюдали 10.06.2022 на водоеме в балке Тубай северо-восточнее Симферополя и беспокоящуюся, вероятно гнездовую пару – 04.06.2017 на каменистом степном участке в 12 км западнее этого города.

На востоке ЮБК огарь гнезвился в 1990-х – начале 2000-х годов в Баракольской котловине (Бескаравайный, 2009). В последующий за этим засушливый период, сопровождающийся пересыханием озера Бараколь, встречались в 3 км южнее – на пруде «Хрущевский Фонтан» у Коктебеля и расположенных рядом водоемах в 2016 (18 июня – выводок) и 2019 годах (пара).

С начала 21 века имеет место рост численности вида на зимовке (Андрющенко и др., 2017), что подтверждают и наблюдения последних лет. Сравнительно крупные зимние скопления обнаружены на водоемах Керченского полуострова: водохранилищах Самарли 21.11.2020 (около 80 птиц), Керченском 21.11.2020 (305) и 19.12.2020 (110), а также на озерах Астанинская Плавня 12.01.2023 (около 300) и Адджиголь в январе 2023 года (около 50).

Серая утка – *Anas strepera* Linnaeus, 1758 (ККРК). В Крыму известна, как немногочисленная гнездящаяся птица северных его районов (Костин, 1983; Гринченко, 2009; Красная книга..., 2015). Возможно гнездование у юго-восточного побережья полуострова, где пару наблюдали 06.05.2016 на прибрежном степном участке у озера Кучук-Адджиголь.

В последние годы немногочисленные сезонные скопления регистрируются регулярно. В равнинном Крыму они отмечались на водохранилище Самарли в декабре 2020 и январе 2021

года (до 8 особей), на озере Кучук-Аджиголь 04.02.2020 (40) и в январе–феврале 2020 года (10–26), на озере Кызыл-Яр Сакского района 07.04.2022 (13). В предгорьях небольшие группы учитывали на пруду в 1,5 км западнее села Насыпное городского округа Феодосия 03.02.2021 (6) и 26.09.2022 (4), а также в бухте Круглая у Севастополя – в январе 2021 и 2022 годов (одиночки) и 17–29.02.2022 (до 4).

Длинноносый крохаль – *Mergus serrator* Linnaeus, 1758 (ККРК). Регулярно зимующий и пролетный вид на ЮБК (Костин, 1983; Бескаравайный, 2008). Был обычным на зимовке у морских берегов в 1970 и 1980 годах (3,0–7,5 особей/км), скопления на акватории насчитывали до 70 птиц (Бескаравайный, 2008).

В последующие годы зимняя численность снизилась, составив в 2015–2022 годах у восточных берегов (Феодосия – поселок Курортное) от менее 1 до 2,5 (в среднем $1,0 \pm 0,2$) особей /км; на западе ЮБК вид в эти годы не наблюдался. У Севастополя встречался в бухтах Круглая (30.01.2017) и Соленая (2 особи – 29.10.2020 и одиночка – 28–31.10.2022).

Савка – *Oxyura leucocephala* (Scopoli, 1769) (ККРФ, ККРК, ККС). В конце 20 и начале 21 века регулярно стала появляться в Крыму на зимовке и пролетах (Андрющенко и др., 2013), в 2000 году зарегистрировано гнездование (Вергелес и др., 2012).

Зимние и ранневесенние скопления наблюдались в западной части Феодосийского залива у села Береговое 12.03.2016 (53), на озере Кучук-Аджиголь 09.02.2019 (13) и водоем-отстойнике восточнее поселка Приморский 28.12.2020 (14). На озере Сакское 25.03.2022 учтено 18 птиц, 18.01.2023 – 80 и в этом же году 23 июля – 5. В январе–феврале 2015, 2016 и декабре–феврале 2020/2021 годов 1–3 птицы зимовали в бухтах Круглая и Соленая у Севастополя.

Чернозобая гагара – *Gavia arctica* (Linnaeus, 1758) (ККРФ). В Крыму – регулярно зимующая, пролетная и летующая у морских берегов птица (Костин, 1983; Бескаравайный, 2008), где остается обычной и в настоящее время.

Зимняя численность на востоке ЮБК в 2015–2022 годах приблизительно соответствовала таковой в прошлые годы (Бескаравайный, 2008): у побережья от Феодосии до поселка Курортное она составила 0,3–12,5 (в среднем $3,4 \pm 0,6$) особей/км береговой линии. На западе ЮБК в январе 2021 года не отмечена, а в этом же месяце 2022 года на акватории заповедника «Мыс Мартьян» (120 га) учтено 70 птиц. У Севастополя зимующие группы включали до 12 птиц (бухта Абрамова, февраль, 2022 года).

Скопления во время весенней миграции наблюдали на акваториях у Карадагского заповедника 09.03.2018 (80 особей) и 10.04.2018 (200), у поселка Курортное 27.03.2015 (120), в бухте Абрамова у Севастополя 12.04.2021 (185); осенью – у села Морское городского округа Судак 24.10.2015 (40) и у мыса Башенный в 5 км западнее 20.10.2019 (60). У Севастополя на весеннем пролете и летом одиночки держались в бухте Соленая 26.07.2020, 17.04.2021, 18.04.2022.

Хохлатый баклан – *Phalacrocorax aristotelis* (Linnaeus, 1761) (ККРФ, ККРК, ККС). По данным регулярных учетов, численность в Карадагском заповеднике – одном из основных резерватов крымской популяции вида, была ниже максимальной (205 пар в 2011 году) и колебалась в последние 9 лет от 66 до 157 пар (рис. 2).

Другая крупная гнездовая группировка – на береговых обрывах у мысов Херсонес, Фиолент и Айя в Севастополе (рис. 3), в 2021 году включала 164 гнезда. Общая численность вида у открытых берегов этого района колебалась от 433 до 841, а в севастопольских бухтах – 15–132 птицы².

Существование еще нескольких небольших гнездовых групп установлено, или подтвердилось в следующих пунктах береговой зоны ЮБК.

У поселка Симеиз (городской округ Ялта) на скале Панеа в мае 2021 года обнаружено около 20 гнезд (Кузиков, 2021), здесь же в начале мая следующего 2022 года нами учтено 23 гнезда.

² Учеты проведены в мае – июне 2021 года В. Е. Гиригосовым.

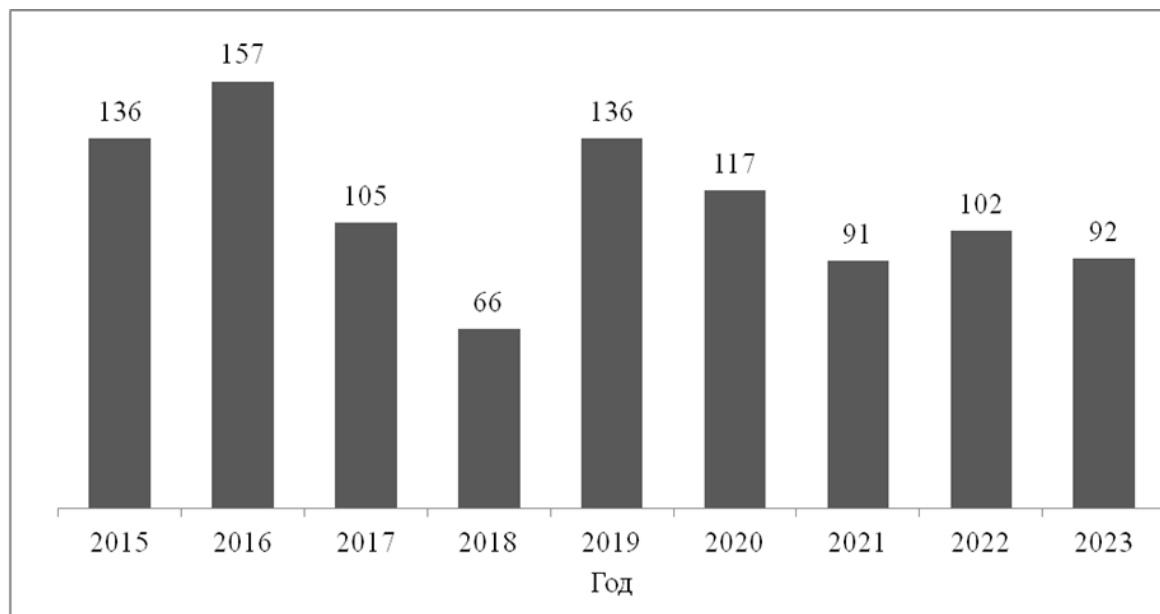


Рис. 2. Динамика гнездовой численности (количество пар) хохлатого баклана в Карадагском заповеднике в 2015–2023 годы

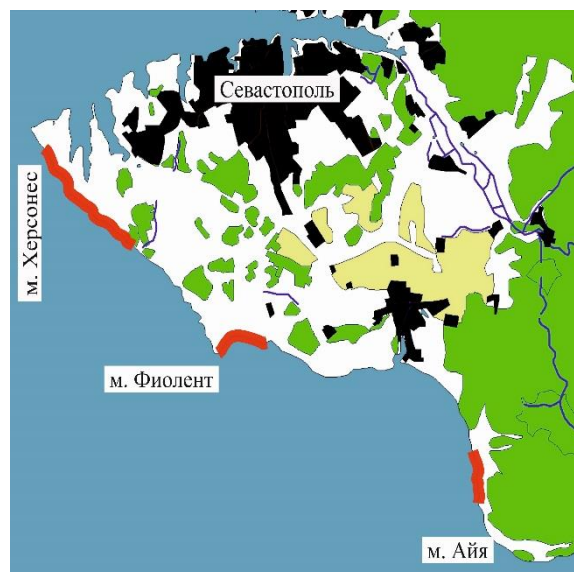


Рис. 3. Расположение гнездовых поселений хохлатого баклана () в Севастополе

У поселка Гаспра (городской округ Ялта) ранее гнездование отмечалось на скале Парус (Бескаравайный, Костин, 1998); на этой же скале в 2017 году учтены три пары, в бухте Ай-Тодор в 2021 – две (Кузиков, 2017, 2021) и на обрыве мыса Ай-Тодор в 2022 году – одна.

В западной части Судака на приморском обрыве горы Крепостная колония приблизительно из 10 гнезд обнаружена 10.05.2021.

О гнездовании на юге Керченского полуострова (Опукский заповедник) свидетельствует наблюдение пар в послегнездовое время (24.08.2016) на традиционном месте гнездования – скалах-островках Камни-Корабли.

Зимой бакланы встречались за пределами гнездовых районов – в 8–17 км от ближайших мест гнездования: на акватории заповедника «Мыс Мартыян» в январе 2020 года (до 12) и в

западной части Феодосийского залива в январе 2017–2022 годов (0,3–3,1, в среднем $1,4 \pm 0,3$ особей/км). До 50, иногда до 230 птиц регулярно зимуют в севастопольских бухтах.

Фламинго – *Phoenicopterus roseus* Pallas, 1811 (ККРФ, ККРК). С 1990-х годов участились, а в последние годы стали регулярными и более продолжительными залеты в равнинную часть Крымского полуострова (Тарасова, 2006; Красная книга..., 2015 и др.).

В восточном Крыму молодые птицы встречались на озере Аджиголь и морском берегу у села Береговое в 2017 году – 3 февраля, 3 марта (одиночки) и 6 марта (3). Здесь же зарегистрирована максимальная по продолжительности зимовка взрослой птицы – с ноября до первой декады марта 2018 года (рис. 4).

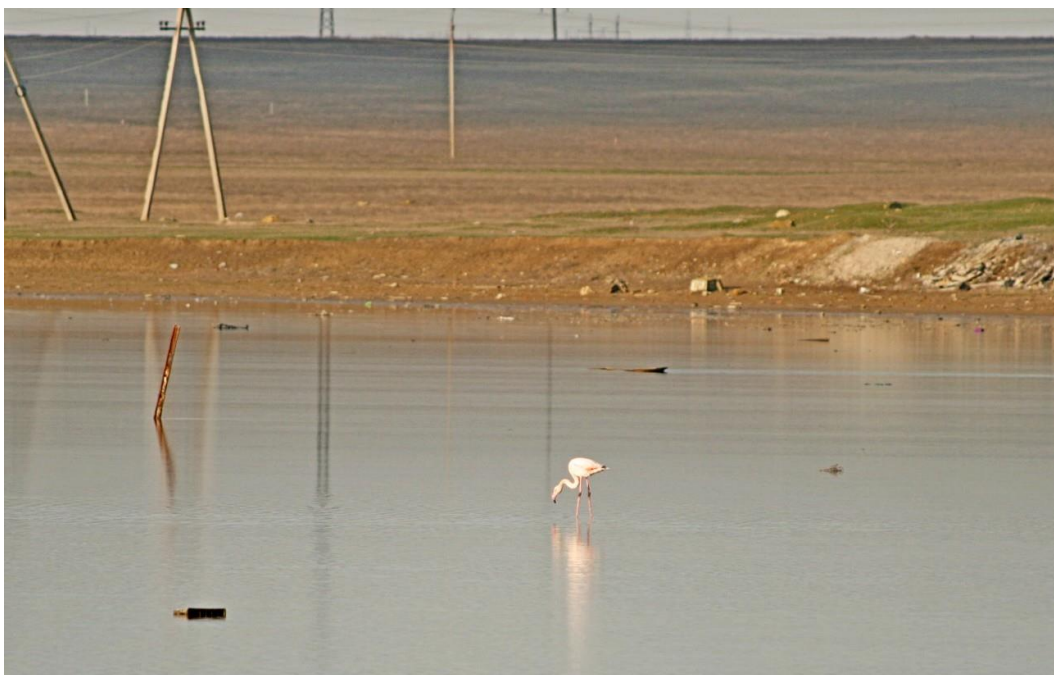


Рис. 4. Зимующий фламинго на озере Аджиголь (январь, 2018 г.)

На западе Крыма (Черноморский район) 1–2 птицы отмечались с 2015 года на озере Ярылгач (Кучеренко и др., 2017). В дальнейшем на этом и рядом расположенном озере Джарылгач фламинго стали появляться регулярно и во все сезоны года, а численность возросла до 20–22 особей³. В последние годы имели место залеты на озеро Сакское (табл. 1).

В 2020 году зафиксирован второй случай залета в горную часть (предгорья) Крыма: в бухте Соленая у Севастополя две особи держались с 21 февраля до 20 марта (Костин, 2020; наши данные).

В одной из последних публикаций (Сикорский, 2022) высказано предположение о гнездовании фламинго «в окрестностях (?? – авт.) Восточного Сиваша», что обосновывается присутствием в стаях молодых птиц. В итоге сделан однозначный вывод о формировании новой гнездовой колонии после 2017 года⁴ у северных границ Крыма. Учитывая, что известный факт преобладания молодых среди залетных птиц (Исаков, Формозов, 1946) не может являться доказательством гнездования, а гнездящихся фламинго в Крыму пока никто не наблюдал, очевидна безосновательность данных выводов.

³ По данным В. В. Репяха, проводившего регулярные наблюдения на этих озерах.

⁴ В 2017 году гнездование фламинго было установлено в Херсонской области – на озере Чурюк в северной части Центрального Сиваша (Петрович, Настаченко, 2017).

Таблица 1

Сроки пребывания и численность фламинго на озерах западного Крыма

Год	Даты наблюдений	Число особей
Озера Ярылгач и Джарылгач		
2016–2017	1 декабря – январь	5 (4 молодых)
	Конец января – 24 мая	2
2018	10 июня – 20 августа	12
2019	19 января – 7 марта	2–3
	29–30 июня	3
	2 сентября – 22 октября	6–8
2020	23 февраля – 15 августа	1–3
	22 сентября – 24 декабря	7–10
2021	23–28 октября	8
	9 ноября	22
2022	12–17 мая	20
Озеро Сакское		
2021	4 октября	1 (молодой)
2022	19 мая	20

Балобан – *Falco cherrug* Gray, 1834 (ККРФ, ККРК, ККС). С 1980–1990-х годов имеет место значительный рост численности в равнинной части Крыма (Карякин и др., 2015). В последующие годы выявлен ряд новых мест гнездования на Керченском полуострове и подтверждено присутствие пар в некоторых ранее известных пунктах предгорий и на востоке ЮБК (табл. 2).

Регулярно зимует на Керченском полуострове: 14.01.2020 на 7-километровом маршруте от озера Узунлар до села Марфовка учтено 5 птиц.

Сапсан – *Falco peregrinus Tunstall, 1771* (ККРФ, ККРК, ККС). После катастрофического снижения в 1970-х годах, численность в Крыму существенно возросла (Бескаравайный, Цвелых, 2009). В 2015–2023 годах подтверждено присутствие пар на 15 ранее известных и обнаружено 8 новых гнездовых участков в Горном Крыму (табл. 2).

Белоголовый сип – *Gyps fulvus (Hablizl, 1783)* (ККРФ, ККРК). Приблизительно с конца 1990-х и в течение первого десятилетия 2000-х годов численность в Крыму постепенно возрастала (Цвелых и др., 2018).

В 2019 и 2020 годах единичные пары вновь обнаружены на скалах у перевала Кок-Асан в 6,5 км севернее села Приветное (Белогорский район), где ранее 1–2 пары гнездились в 1998–2001 годах (Кинда, Прокопенко, 2001; Цвелых и др., 2018); в мае 2020 года здесь держалось не менее 10 взрослых птиц. В северной части Карадагского заповедника (скала Икылмак-Кая), где впервые после 86-летнего перерыва появился на гнездовании в 2013 году (Бескаравайный, 2015), впоследствии гнезвился в 2021, 2022 и 2023 годах.

Скопления сипов наблюдались у села Зеленогорье городского округа Алушта 25.09.2022 (20 птиц), в районе горы Сель-Бухра 1,5 км к северу от поселка Научный Бахчисарайского района в январе–марте 2020 года (11–14) и 11.08.2022 (20), на скалах Чернореченского каньона в заказнике Байдарский в октябре–марте 2020 и 2022 годов (10–17).

Стервятник – *Neophron percnopterus (Linnaeus, 1758)* (ККРФ, ККРК). Большинство прежних регистраций в Крыму приходится на горную его часть в период с мая по октябрь (Красная книга..., 2015; Цвелых и др., 2018).

Два последних наблюдения, уточняющие сроки и районы пребывания вида на полуострове, сделаны в равнинной части Крыма: 26.08.2018 – над северо-восточным районом Феодосии и 29.03.2022 – на Керченском полуострове над мысом Казантип.

Красавка – *Anthropoides virgo (Linnaeus, 1758)* (ККРФ, ККРК). Вид распространен в степной части Крыма, доходя до предгорий: с начала 1960-х годов районы гнездования сократились, а численность резко упала (Костин, 1983).

Пункты гнездования балобана и сапсана, выявленные в 2015–2023 годах

Административный регион	Место наблюдения	Годы наблюдений
Балобан – <i>Falco cherrug</i>		
Белогорский р-н	5 км к северо-западу от Белогорска, хребет Сарак-Кая	2020, 2022
	1,5 км к северу от с. Курское, обрыв горы Бор-Кая	2018
Городской округ Феодосия	Карадагский заповедник, хребет Карагач	2019, 2020
Ленинский р-н (Керченский п-ов)	Опукский заповедник, обрыв горы Опук, западная часть	2020
	Опукский заповедник, гора Опук, южный обрыв под вершинным плато	2020
	Караларский природный парк, восточная часть	2016, 2018
	Караларский природный парк, западная часть*	2016, 2018
	4,5 км к юго-востоку от с. Горностаевка, карьер*	2016, 2018
	1,8 км к северу от с. Костырино, береговой обрыв озера Тобечик*	2016, 2018
	1,2 км к востоку от с. Заветное, приморский обрыв*	2016, 2018
1,8 км к востоку от с. Заветное, то же*	2016	
Сапсан – <i>Falco peregrinus</i>		
Бахчисарайский р-н	Село Песчаное, обрыв мыса Керменчик*	2019
Белогорский р-н	р. Зуя, у грота Киик-Коба*	2020
	~6,5 км к северу от с. Приветное, перевал Кок-Асан	2019
	6 км к северу от Белогорска, обрыв горы Ак-Кая	2015, 2020
	5 км к северо-западу от Белогорска, хребет Сарак-Кая*	2020
	2,5 км к югу от с. Синекаменка, скала Кок-Таш*	2020
	1 км к северу от с. Курское, обрыв горы Бор-Кая	2018
Городской округ Ялта	Район водопада Учан-Су	2022
	Симеиз, скала Ермитаж*	2021 ⁵ , 2022
Городской округ Судак	2 км к северу от с. Солнечная Долина, скала Порсук-Кая	2016
	Поселок Новый Свет, гора Коба-Кая	2021
	5 км к западу от с. Морское, обрыв мыса Чобан-Куле*	2018
Городской округ Феодосия	Феодосия, северная часть: городская застройка	2018
	~1 км к северо-востоку от пос. Краснокаменка, обрыв горы Горданлы-Кая*	2017
	Карадагский заповедник, хребет Береговой, восточная часть	2015, 2016
	Там же, хребет Карагач	2015, 2019, 2020, 2022
	Там же, обрыв горы Ален-Кая	2021
	Там же, обрыв горы Икылмак-Кая	2022, 2023
	Там же, г. Святая, скала. Куш-Кая	2015, 2019, 2021
	Там же, обрыв горы Сюрю-Кая	2018, 2021
Город федерального значения Севастополь	Гагаринский р-н, городская застройка	2017, 2018, 2021
	8,5 км к западу от Балаклавы, обрыв мыса Фиолент	2021
	Заказник «Мыс Айя», урочище Батилиман	2021, 2023
	2 км к юго-востоку от Балаклавы, обрыв горы Аскети *	2020

Примечание к таблице. * – Новые пункты гнездования, выявленные в 2015–2022 годах.

На юге Керченского полуострова пары встречались севернее села Яковенково 26.04.2015, между озерами Кояш и Узунлар 18.05.2020, восточнее озера Камышинский Луг 25.04.2021.

⁵ 18.05.2021 обнаружено гнездо с пуховым птенцом (Кузиков, 2021).

В предгорьях 1–2 пары регулярно наблюдались в июне–июле 2018–2021 годов северо-западнее Белогорска – на степных участках у сел Вишенное, Русаковка и Долиновка; единичные пары – в 5 км севернее села Ближнее городского округа Феодосия 08.06.2020 и в окрестностях села Ключи Симферопольского района 15.05.2021.

Значительные летние скопления выявлены на Керченском полуострове: южнее села Марьевка – 21.06.2018 (46 особей) и в третьей декаде июня 2022 года (106), у северного берега озера Тобечик 27.07.2019 (70), южнее села Ленинское у южного берега водохранилища Юзмак 16.08.2018 (785).

Авдотка – *Burhinus oedicnemus* (Linnaeus, 1758) (ККРФ, ККРК, ККС). На гнездовании распространена преимущественно в степном Крыму (Костин, 1983; Красная книга..., 2015). В последние годы гнездовые участки выявлены на Керченском полуострове – в старом карьере в 4,5 км юго-восточнее села Горностаевка (2021 и 2022 годы, гнезда), у села Яркое (26.05.2021), у озера Тобечикское в 2 км к северо-западу от села Костырино (10.05.2019); на западе Крыма – пары у сел Снежное Черноморского района (13.05.2022) и Лекарственное Симферопольского района (11.05.2020).

Ходулочник – *Himantopus himantopus* (Linnaeus, 1758) (ККРК). Был известен, как спорадически распространенный и малочисленный в Крыму вид (Костин, 1983), с конца 1970-х – начала 1980-х годов происходит рост численности (Кинда, 1998). Основные районы гнездования находятся в Присивашье и на Керченском полуострове (Красная книга..., 2015).

На юге Крыма до середины 2000-х годов регулярно гнезвился на озере Бараколь (Бескаравайный, 2009), а после пересыхания озера небольшие гнездовые группы появились на некоторых искусственных водоемах в восточных районах ЮБК и предгорий (табл. 3).

Таблица 3

Пункты гнездования ходулочника, выявленные в 2016–2023 годах

Административный регион	Место наблюдения	К-во пар	Годы наблюдений
Белогорский р-н	с. Ароматное, 1,5 км к востоку*	(1)	2021
Кировский р-н	с. Отважное, 1 км к северу	(1–2)	2020
Городской округ Феодосия	Коктебель, 2 км к северу: пруд «Хрущевский Фонтан»*	~5	2018
	с. Насыпное, ~1,5 км к западу	1–3	2018, 2020, 2021, 2023
	с. Степное, 0,8 км к западу	(1)	2020
	с. Береговое, о. Кучук-Аджиголь	2	2016, 2019, 2020, 2022
	пос. Приморский, озеро Камышинский Луг, западный берег	+	2022 (3 июля juv)
Ленинский р-н (Керченский п-ов)	с. Львово, к югу*	(1)	2016
	с. Уварово, ~3 км к югу	(1)	2018
	с. Ленинское, водохранилище Юзмак*	~6	2021
	Опускский заповедник, о. Кояшское	2	2020
	о. Чокрак*	1	2016
	о. Тобечик, западная часть*	4	2019

Примечание к таблице. * – Новые пункты гнездования. В скобках – наблюдались беспокоящиеся пары, но гнезда не найдены. + – Гнезвился, но численность не установлена.

Относительно крупные сезонные скопления регистрировались на озерах Камышинский Луг 19.06.2021 (около 300), Кучук-Аджиголь 19.05.2018 (39), 14.06.2020 (59), 09.07.2022 (40), 08.08.2021 (160) (рис. 5), 22.08.2018 (36), на водохранилище Бугаз в 7 км к востоку от Судака 18.04.2016 (25). Группы весеннепролетных птиц регулярно отмечались на морском берегу: наиболее крупные – в б. Капсель восточнее Судака 18.04.2016 (11), в б. Тихая у Коктебеля 18.04.2021 (27) и в б. Карантинная у Севастополя 10.05.2023 (15).



Рис. 5. Скопление ходулочников на озере Кучук-Аджиголь (08.08.2021)

Шилоклювка – *Recurvirostra avosetta* Linnaeus, 1758 (ККРФ, ККРК). Гнездится в Равнинном Крыму (Костин, 1983), преимущественно в Присивашье и на Керченском полуострове.

На Акмонайском перешейке и Керченском полуострове места гнездования выявлены на западном берегу озера Камышинский Луг 27.05.2022 (несколько пар) и 28.05.2023 (не менее 2 пар), водохранилище Юзмак южнее села Ленинское 26.05.2021 (5), южном берегу озера Кояшское 17.06.2020 (1), в западной части озера Тобечик в мае 2019 года (8).

Сезонные скопления регистрировались на озерах Камышинский Луг 25.04.2021 (130), Аджиголь 29.04.2021 (25) и 03.07.2022 (20), Кучук-Аджиголь 09.07.2022 (40) и 05.08.2015 (77).

Морской зуек – *Charadrius alexandrinus* Linnaeus, 1758 (ККРФ, ККРК). Был многочисленным на гнездовании в равнинной части Крыма (Костин, 1983), впоследствии наметилась тенденция к снижению численности (Кинда, 1998; Красная книга..., 2015).

На Керченском полуострове и Акмонайском перешейке подтверждено присутствие пар в некоторых ранее установленных пунктах гнездования (Красная Книга..., 2015): на озерах Чокрак 01.06.2022, Кояшское 17.06.2020 (8 пар на 2,5-км участке южного берега озера), Аджиголь 21.04.2019 и на водохранилище Фронтное 16.04.2017.

Зимовка на некоторых водоемах равнинной и предгорной зон Крыма отмечена в декабре 2020 года – январе 2021 года (Бескаравайный и др., 2022).

Чеграва – *Hydroprogne caspia* (Pallas, 1770) (ККРФ, ККРК). Колонии известны на северном побережье Крыма (Красная книга..., 2015). В 2015–2023 годах одиночки и группы до 12 регулярно встречались с апреля по сентябрь на юго-востоке полуострова (озера Кучук-Аджиголь, Аджиголь и Камышинский Луг). На островке в западной части озера Камышинский Луг в группе из 5 птиц 27.05.2022 наблюдали брачное поведение (ритуальное кормление самки) одной пары. На западе Крыма 8 птиц учтены 07.09.2021 в Сакском районе на озере Кызыл-Яр.

Малая крачка – *Sterna albifrons* Pallas, 1764 (ККРФ, ККРК). Большинство колоний расположено в прибрежных районах северной части Крымского полуострова (Красная книга..., 2015).

Одиночки и небольшие группы регулярно встречаются в последние годы с мая по июль на водоемах к востоку от Феодосии (у озера Кучук-Аджиголь до 8 особей). О гнездовании свидетельствует наблюдение 21.07.2019 у этого озера взрослых птиц, докармливающих летающих птенцов.

На западе Крыма взрослые птицы со слетками (не менее 5 пар) отмечены 12.07.2023 на небольшой отмели в юго-западной части Сакского озера.

Сизый голубь – *Columba livia* J. F. Gmelin, 1789 (ККРК). В последние десятилетия численность природной популяции в Крыму резко сократилась (Костин, 1983; Красная книга..., 2015). В береговой зоне Карадагского заповедника, где в 1980-х годах численность составляла несколько десятков пар (Бескаравайный, 2008), в последние годы гнездится лишь несколько (в 2019 году 3 пары учтены на приморских обрывах хребта Хоба-Тепе).

При обследовании восточной части Внутренней гряды в июне 2018 и 2021 годов, 1–2 гнездовые пары обнаружены на приречном обрыве реки Зуя у села Литвиненково Белогорского района. На юге Керченского полуострова (Опукский заповедник) одна пара отмечена в августе 2016 года и две – в июле 2020 года на скалах-островках Камни-Корабли в 3 км от берега.

Сипуха – *Tyto alba* (Scopoli, 1769) (ККРК). Впервые гнездование в Крыму достоверно подтверждено в 2004 году (Ветров и др., 2008), позже была найдена в ряде пунктов равнинной и предгорной частей полуострова (Прокопенко, Бескаравайный, 2009; Кучеренко и др., 2017; Ластухин, 2017).

На востоке равнинного Крыма пары в гнездовое время (апрель–июль) отмечены в поселке Приморский (июль, 2019 года, слетки), на западе – на здании в 2 км юго-восточнее села Знаменское Черноморского района (июнь 2022 года). Места находок на Керченском полуострове – Ак-Монайские каменоломни восточнее села Каменское (30.04.2016) и каменоломня в 4,5 км юго-восточнее озера Чокрак (19.05.2020), карьер в 4,5 км к юго-востоку от села Горностаевка (2022 и 2023 гг.), а также села Марьевка (2020 г.) и Вязниково (2022 г.). В предгорьях встречена в гнездовое время (18.05.2020) у села Долиновка.

В осенне-зимний период птицы регистрировались в западной части Феодосии (14.11.2015, sad), в селе Новоселовка Симферопольского района (05.01.2018), погибшая – на шоссе в районе села Батальное на Керченском полуострове (18.01.2020).

Сизоворонка – *Coracias garrulus* Linnaeus, 1758 (ККРФ, ККРК). На гнездовании распространена в равнинном Крыму, заходя в предгорья и на восток ЮБК (Костин, 1983). Наблюдается тенденция к снижению численности (Красная книга..., 2015). В последние годы места гнездования выявлены в предгорьях, на востоке ЮБК и на Керченском полуострове (табл. 4).

Зимородок – *Alcedo atthis* (Linnaeus, 1758) (ККРК). Гнездование в Крыму достоверно установлено в 2000 году, позже гнезда были найдены у большинства крупных рек предгорной части полуострова (Цвелых, 2019).

На юго-западе равнинного Крыма гнездовые норы и птиц с кормом наблюдали в мае и июне 2020 и 2021 годов на пруду по руслу реки Западный Булганак у села Лекарственное Симферопольского района. В гнездовое время (18.05.2020) зимородок встречен на реке Бурульча у села Долиновка.

В 2017–2022 годах единичные особи зимовали в предгорном Крыму: в севастопольских бухтах, на реках Салгир в Симферополе, Байбуга в Феодосии и Мелек-Чесме в Керчи (Бескаравайный и др., 2022). Новое место зимовки выявлено в равнинной части Крыма – на пруду у села Фрунзе Сакского района (24.01.2022).

Розовый скворец – *Pastor roseus* (Linnaeus, 1758) (ККРФ, ККРК). Регулярно гнездится на горе Опук (Керченский полуостров), в меньшем числе и нерегулярно – в других районах равнинного Крыма.

Пункты гнездования сизоворонки, выявленные в 2017–2022 годах

Административный регион	Место наблюдения	Число пар	Годы наблюдений
Белогорский р-н	Белогорск, 1 км к северу: грунтовый обрыв	1	2019
	с. Вишенное, ~1,2 км к югу: скальный обрыв у крепости Ак-Кая	1	2019
	Белогорск, 5 км к северо-западу: хребет Сарак-Кая, скальные обрывы (2,5 км)	2	2020
	с. Мироновка, ~0,5 км к юго-западу: скальный обрыв	1	2020
	с. Долиновка, река Бурульча: скальный обрыв	1	2018
	с. Литвиненково, река Зуя: скальный обрыв	1–2	2018, 2020
Городской округ Феодосия	Коктебель, 3 км к северу: Баракольская котловина	1	2018 (12 июня птица с кормом)
Ленинский р-н (Керченский п-ов)	с. Каменка, ~6 км к востоку: грунтовый обрыв	1	2018
	о. Чокрак, 4,5 км к юго-востоку: каменоломня	1	2022
	Опукский заповедник, гора Опук, южный обрыв под вершинным плато	1	2020
	Окрестности села Вулкановка, степь (пары)	2	2021
	Окрестности села Войково, степь	1	2017 (21 августа sad)

На Керченском полуострове выявлены три пункта гнездования: на осыпях южного склона горы Опук в июне 2020 года (по глазомерной оценке, 1,5–2 тысячи пар), в заброшенных постройках у села Новоселовка в июне 2018 года (многочислен), на кошарах у села Яркое, где гнезвился и в предыдущие годы, 26.05.2021 (несколько сотен птиц).

По опросным данным, еще два места гнездования обнаружены в Черноморском районе: на кошаре у сел Медведево в 2015 году и Красноярское, где был многочисленным в июне 2018 года.

Черноголовая овсянка – *Granativora melanocephala* (Scopoli, 1769) (ККПК). Основной район распространения – Керченский полуостров, где в последние годы численность существенно снизилась.

На приморских склонах Опукского заповедника была многочисленной в середине 1990-х годов (Кинда, Гринченко, 2002; наши данные), а в июне 2020 года здесь учтено всего два территориальных самца и еще один – на пересыпи озера Кояшское. В других районах Керченского полуострова единичные пары отмечались у крепости Арабат в районе села Каменское в 2016 и у села Вязниково в 2017 году.

В последнее десятилетие происходит расширение ареала в западном направлении и появление в предгорьях (первая регистрация на востоке предгорий – в 2012 году). Позже территориальные самцы были обнаружены у сел Донское в 2015 году (Кучеренко и др., 2017) и Мазанка (10.06.2016) Симферопольского района, а также в 6,5 км южнее села Русаковка Белогорского района (07.06.2021).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За время, прошедшее после издания Красной книги Крыма (2015), получены данные, уточняющие область распространения и численность в ряде районов Крымского полуострова 26 охраняемых видов птиц (в том числе не менее 18 – гнездящиеся), внесенных в красные книги Крыма, Севастополя и Российской Федерации. К наиболее существенным изменениям, выявленным за указанный период времени, следует отнести расширение области гнездования черноголовой овсянки, рост численности на зимовке малого лебедя и огаря, а на кочевках –

фламинго. Вместе с тем, отмечено снижение гнездовой численности в береговой зоне ЮБК сизого голубя, а на зимовке – длинноносого крохалея.

Анализ биотопического распределения видов позволяет выделить два типа станций, важных для существования раритетной части гнездового орнитокомплекса: скальные формы рельефа (7 видов: хохлатый баклан, сапсан, балобан, белоголовый сип, сизый голубь, сизоворонка, розовый скворец) и внутренние водоемы (не менее 7 видов: серый гусь, огарь, морской зуек, ходулочник, шилоклювка, малая крачка, зимородок). Водные биотопы используют в качестве кормовых не менее 14 видов во время зимовки, миграций и летних кочевок: относительно крупные сезонные скопления (десятки, иногда более 100 особей) образуют 8 видов: на внутренних водоемах – серый гусь, огарь, савка, ходулочник, шилоклювка, реже – серая утка; на прибрежной морской акватории – чернозобая гагара и хохлатый баклан. Еще три вида (красавка, авдотка и черноголовая овсянка) гнездятся в открытых травянистых биотопах Керченского полуострова и предгорий; исключительно с антропогенными станциями равнинного и предгорного Крыма (постройки, карьеры, каменоломни) связана сипуха.

Подтверждена важная роль природных заповедников, как резерватов популяций охраняемых видов. Так, 8 видов обнаружены на гнездовании в Опукском заповеднике (хохлатый баклан, балобан, морской зуек, ходулочник, шилоклювка, сизый голубь, розовый скворец, черноголовая овсянка) и 5 – в Карадагском (хохлатый баклан, балобан, сапсан, белоголовый сип, сизый голубь).

Полученные данные о распространении и численности охраняемых видов птиц дают основание рассматривать в качестве важных для сохранения раритетного орнитокомплекса следующие ландшафтно-территориальные объекты.

Озеро Кучук-Аджиголь. Соленое озеро лагунного происхождения в юго-западной части Акмонайского перешейка у села Береговое: длина 0,9 км, ширина – 0,3–0,7 км, площадь акватории – 0,3 км². Северная и южная части озера заняты тростниковой растительностью; территорию к востоку занимает степь, к западу – застройка.

В исследуемый 9-летний период на данном водоеме установлено пребывание 19 охраняемых видов (всего с середины 1990-х годов выявлено 22), на гнездовании – не менее 4: серый гусь, ходулочник, малая крачка и морской зуек; вероятно нерегулярное гнездование серой утки. Отмечены сезонные скопления серого гуся, серой утки, савки, ходулочника, шилоклювки, а также регулярная зимовка малого лебедя.

Скальная гряды Сарак-Кая. Представляет собой 2,5-километровый куэстовый гребень на востоке Внутренней гряды в 5 км северо-западнее Белогорска.

Раритетный скальный орнитокомплекс представлен пятью видами: в гнездовое время (май – июль 2020 и 2022 годы) здесь отмечены огарь, балобан, курганник, сапсан и сизоворонка. На близлежащих степных участках наблюдались пары красавок.

Благодарности. Автор искренне благодарен лицам, предоставившим свои наблюдения, использованные в данной работе: В. Е. Гирагосову, А. Б. Гринченко, Д. Ю. Жеребцову, М. Н. Косаревой, В. Е. Лузанову, Е. П. Павленко, А. Г. Перезову, С. П. Прокопенко, В. С. Пугач, С. Т. Ребику, В. В. Репяху, П. В. Ручко, В. А. Сербину, Т. Б. Сеницыну, М. И. Стефановичу, С. Н. Шкарупо, Е. Ю. Шубенкиной.

Работа выполнена в рамках государственного задания КНС–ПЗ РАН – филиал ФИЦ ИнБЮМ по теме «Изучение особенностей структуры и динамики сухопутных экосистем в различных климатических зонах» (№ гос. регистрации 121032300023-7).

Список литературы

Андрющенко Ю. А., Атемасов А. А., Баник М. В., Бескаравайный М. М., Вергелес Ю. И., Костин С. Ю., Кучеренко В. Н., Попенко В. М., Прокопенко С. П. Савка в Крыму // Казарка: бюллетень рабочей группы по гусеобразным. – 2013. – Вып. 16. – С. 70–84.

- Андрющенко Ю. А., Попенко В. М., Черничко Р. Н., Андрющенко А. Ю. Современное состояние зимовок гусеобразных в Сивашском субрегионе // Бранта: сборник научных трудов Азово-Черноморской орнитологической станции. – 2017. – Вып. 20. – С. 154–186.
- Белик В. П., Гугуева Е. В., Ветров В. В., Махмутов Р. Ш. Миграции малого лебедя в Волго-Ахтубинской пойме // Казарка. – 2012. – № 15 (1). – С. 13–29.
- Бескаравайный М. М. Птицы морских берегов южного Крыма. – Симферополь: Н. Оріанда, 2008. – 160 с.
- Бескаравайный М. М. Птицы озера Бараколь в юго-восточном Крыму // Карадаг-2009: Сборник научных трудов, посвященный 95-летию Карадагской научной станции и 30-летию Карадагского природного заповедника Национальной академии наук Украины. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. – С. 274–282.
- Бескаравайный М. М. Некоторые итоги орнитологических исследований на юго-востоке Крыма в начале XXI века // 100 лет Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского: сборник научных трудов / [Ред. А. В. Гаевская, А. Л. Морозова]. – Симферополь: Н. Оріанда, 2015. – С. 355–360.
- Бескаравайный М. М., Гирагосов В. Е., Гринченко А. Б. Изменения миграционных характеристик некоторых видов орнитофауны Крыма в условиях потепления климата // Экосистемы. – 2022. – Вып. 30. – С. 122–137.
- Бескаравайный М. М., Костин С. Ю. Распределение, численность и некоторые особенности гнездовой экологии хохлатого баклана и серебристой чайки в юго-восточном Крыму // Беркут. – 1998. – Т. 7, вып. 1–2. – С. 25–29.
- Бескаравайный М. М., Цвельх А. Н. Распространение, численность и сезонные изменения популяционного состава сапсана (*Falco peregrinus*, Falconiformes, Falconidae) в Крыму // Зоологический журнал. – 2009. – Т. 88, № 6. – С. 1–6.
- Ветров В. В., Ремизов А. Ю., Шкарабалюк А. П. О гнездовании сипухи (*Tyto alba* (Scop.)) в Крыму // Новітні дослідження соколоподібних та сов. Матеріали III Міжнародної наукової конференції «Хижі птахи України». – Кривий Ріг, 2008. – С. 55–57.
- Вергелес Ю. И., Баник М. В., Кучеренко В. Н., Атемасов А. А., Гончаров Г. Л. // Гнездование савки (*Oxyura leucocephala*) в Западном Крыму // Казарка. – 2012. – № 15 (1). – С. 145–149.
- Гринченко А. Б. Изменения гнездовой фауны гусеобразных Крыма, связанные с антропогенной сукцессией Сиваша и степной части полуострова // Бранта: сборник научных трудов Азово-Черноморской орнитологической станции. – 2009. – Вып. 12. – С. 59–69.
- Домашевський С. В. Спостереження у 1992–2006 рр. деяких видів птахів, занесених до Червоної книги України // Знахідки тварин Червоної книги України. – Київ, 2008. – С. 76–83.
- Исаков Ю. А., Формозов А. Н. Непериодические миграции (залеты) фламинго в СССР // Зоологический журнал. – 1946. – Т. 25, вып. 5. – С. 473–480.
- Карякин И. В., Николенко Э. Г., Шнайдер Е. П. Балобан на полуострове Крым // Пернатые хищники и их охрана. – 2015. – Вып. 31. – С. 103–129.
- Кинда В. В. Современное состояние гнездящихся куликов семейства ржанковых в Крыму и Присивашье // Гнездящиеся кулики восточной Европы – 2000. Том 1. – М., 1998. – С. 115–120.
- Кинда В. В., Гринченко А. Б. Черноголовая овсянка в Крыму: современный ареал, численность, черты биологии // Бранта: сборник научных трудов Азово-Черноморской орнитологической станции. – 2002. – Вып. 5. – С. 7–13.
- Кинда В. В., Прокопенко С. П. Новые данные о гнездовании и численности белоголового сипа в Крыму // Бранта: сборник научных трудов Азово-Черноморской орнитологической станции. – 2001. – Вып. 4. – С. 126–128.
- Костин С. Ю. Каталог птиц Крыма. – Симферополь: ИТ «Ариал», 2020. – 244 с.
- Костин Ю. В. Птицы Крыма. – М.: Наука, 1983. – 240 с.
- Красная книга города Севастополя / Главное управление природных ресурсов и экологии города Севастополя. – Калининград; Севастополь: РОСТ-ДООАФК, 2018. – 432 с.
- Красная книга Республики Крым. Животные / [Отв. ред. С. П. Иванов, А. В. Фатерыга]. – Симферополь: АРИАЛ, 2015. – 440 с.
- Красная книга Российской Федерации. Животные. 2-ое изд. – Москва: ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. – 1128 с.
- Кузиков И. В. Заметки о некоторых видах птиц, встреченных в окрестностях Ялты в мае 2017 года // Русский орнитологический журнал. – 2017. – Т. 26. Экспресс-выпуск 1472. – С. 2953–2958.
- Кузиков И. В. Заметки о редких и малочисленных птицах Крыма // Русский орнитологический журнал. – 2021. – Т. 30. Экспресс-выпуск 2098. – С. 3630–3638.
- Кучеренко В. М., Прокопенко С. П., Жеребцова Т. А., Жеребцов Д. Ю. Нові дані по рідкісних птахів Криму // Беркут. – 2017. – Т. 26, вип. 1. – С. 1–4.
- Ластухин А. А. Летняя находка сипухи *Tyto alba* на юго-западе Крымского полуострова // Русский орнитологический журнал. – 2017. – Т. 26. Экспресс-выпуск 1461. – С. 2571–2573.
- Лысенко В. И. Гусеобразные // Фауна Украины. Птицы. Вып. 3. – К.: Наукова Думка, 1991. – 208 с.
- Мосалов А. А., Ганицкий И. В., Коблик Е. А., Глуховский М. В., Редькин Я. А., Шариков А. В., Шитиков Д. А. Зимняя орнитофауна некоторых районов побережья Крыма // Русский орнитологический журнал. – 2002. – Т. 11. Экспресс-выпуск 182. – С. 315–329.
- Петрович З. О., Настаченко О. С. Фламинго (*Phoenicopterus roseus*) – новий гніздовий вид фауни України // Беркут. – 2017. – Т. 26, вип. 1. – С. 5–7.

Прокопенко С. П., Бескаравайный М. М. Новые данные о распространении сипухи *Tyto alba* (Scop.): Tytonidae, Strigiformes в Крыму // Бранта: Сборник научных трудов Азово-Черноморской орнитологической станции. – 2009. – Вып. 12. – С. 167–169.

Сикорский И. А. Встречи розового фламинго *Phoenicopterus roseus* в Крымском Приморье и на сопредельных территориях // Устойчивое развитие особо охраняемых природных территорий. Том 9. Сборник статей IX Всероссийской (национальной) научно-практической конференции (6–8 октября 2022, Сочи). – Сочи: ГКУ КК «Природный орнитологический парк в Имеретинской низменности», Донской издательский центр, 2022. – С. 359–366.

Тарасова Е. С. Обыкновенный фламинго (*Phoenicopterus roseus*) в Украине // Бранта: сборник научных трудов Азово-Черноморской орнитологической станции. – 2006. – Вып. 9. – С. 197–200.

Цвельх А. Н., Аппак Б. А., Бескаравайный М. М., Костин С. Ю., Осипова М. А. Грифовые птицы фауны Украины. – Киев: Фитосоциоцентр, 2018. – 188 с.

Цвельх А. Н. Распространение зимородка *Alcedo atthis* (L.) в Крыму // Бранта: сборник научных трудов Азово-Черноморской орнитологической станции. – 2019. – Вып. 22. – С. 94–101.

Beskaravayny M. M. New data on the distribution and abundance of some protected bird species of Crimea // Ekosistemy. 2023. Iss. 36. P. 133–147.

In the period from 2015 to 2023, the distribution and abundance of 26 protected bird species (including 18 nesting species) listed in the Red Books of Crimea, Sevastopol and the Russian Federation were clarified in Crimea. Two types of stations are important for the existence of a rare part of the nesting ornithocomplex: rocks (*Phalacrocorax aristotelis*, *Falco peregrinus*, *Falco cherrug*, *Gyps fulvus*, *Columba livia*, *Coracias garrulus*, *Pastor roseus*) and inland water bodies (*Anser anser*, *Tadorna ferruginea*, *Charadrius alexandrinus*, *Himantopus himantopus*, *Recurvirostra avosetta*, *Sterna albifrons*, *Alcedo atthis*). At least 14 species use aquatic biotopes during wintering, migrations and summer nomads (relatively large seasonal aggregations are formed by *Anser anser*, *Tadorna ferruginea*, *Oxyura leucocephala*, *Himantopus himantopus*, *Recurvirostra avosetta*), and, moreover, two species – *Gavia arctica* and *Phalacrocorax aristotelis* – nest off the sea coast). Three species (*Anthropoides virgo*, *Burhinus oedipnemus*, *Granativora melanocephala*) are registered in open biotopes, one species (*Tyto alba*) uses anthropogenic habitats. The Opuk (*Phalacrocorax aristotelis*, *Falco cherrug*, *Charadrius alexandrinus*, *Himantopus himantopus*, *Recurvirostra avosetta*, *Columba livia*, *Pastor roseus*, *Granativora melanocephala*) and Karadag Karadagsky (*Phalacrocorax aristotelis*, *Falco cherrug*, *Falco peregrinus*, *Gyps fulvus*, *Columba livia*) nature reserves continue to play a role as breeding grounds for protected bird species. Based on the obtained data, two locations important for the preservation of the rare ornithocomplex were identified: 1) Lake Kuchuk-Adzhigol (19 protected species, nesting *Anser anser*, *Himantopus himantopus*, *Charadrius alexandrinus*, *Sterna albifrons*); 2) the rocky ridge of Sarak-Kaya (*Tadorna ferruginea*, *Falco cherrug*, *Falco peregrinus*, *Buteo rufinus* and *Coracias garrulus* were recorded there during the nesting season).

Key words: birds, protected species, nesting species, seasonal concentrations, distribution, abundance, Crimea.

Поступила в редакцию 07.09.23

Принята к печати 04.10.23

Оценка состояния естественных биоценозов типичной растительности на территории Ево-Яхинского участка недр

Гривко Е. В., Гамм Т. А., Бикбаева Л. Л.

Оренбургский государственный университет
Оренбург, Россия
grivko-ev@mail.ru, hammtam@mail.ru, liana09876543@mail.ru

По лесорастительному районированию Ево-Яхинский нефтегазовый участок недр относится к подзоне лесотундры, по геоботаническому районированию – к Северо-Надым-Пуровской ландшафтной провинции приподнятых таежно-болотных равнин, представленных сочетанием грядово-холмистых лишайниковых тундр с мерзлыми болотами и приречными лиственничными редколесьями. Большую часть лесопокрытой площади занимают редкостойные низкобонитетные лиственничные (*Larix sibirica*) и березовые (*Betula pendula*) леса V–Va классов бонитета, характеризующиеся небольшой сомкнутостью крон и низкой продуктивностью. В лесных сообществах хорошо выражен лишайниковый покров и травяно-кустарничковый ярус. В качестве примеси в небольшом количестве встречаются сосна сибирская (кедр) и ель обыкновенная. Травяно-кустарничковый ярус разреженный, слабо сомкнутый. Проективное покрытие наибольшее в травянисто-кустарничковом ярусе, занятом осоками и ягодниками, а также в мохово-лишайниковом ярусе. В сплошном лишайниковом покрове с проективным покрытием 90–95 % преобладают кладина звездчатая, оленья (*Cladina rangiferina*) и цетрария снежная (*Cetraria nivalis*). Небольшими вкраплениями встречаются зеленые мхи: политрихум можжевельниковый (*Polytrichum juniperum*). Установлено, что состояние растительных сообществ, в пределах контрольных и условно контрольных пробных площадок на территории санитарно-защитной зоны, а также в зоне влияния объектов месторождения, не отличается от условно-фоновых пробных площадок. Обилие видов, скудность произрастания отдельных особей и фаза их вегетации соответствуют зональным особенностям и сезону. В техногенных поверхностных образованиях в виде песчаных обнажений в карьерах и насыпных техногенных грунтах при строительстве производственных объектов и дорог на переувлажненных участках растительный покров полностью уничтожен. Тем не менее, на всех пробных площадках были обнаружены значительные популяции краснокнижных представителей семейства осоковых, мятликовых, кладониевых и ивовых, косвенно отражающие незначительную степень антропогенной нагрузки на исследуемой территории. Таким образом, в результате фитоценологических исследований, проведенных на территории Ево-Яхинского участка недр, расположенном в подзоне лесотундры приподнятых таежно-болотных равнин получены новые данные, уточняющие видовой состав растительности этого региона.

Ключевые слова: нефтегазовый участок недр; естественные биоценозы; растительность лесотундры; проективное покрытие; виды воздействия.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что наиболее чутко на воздействие со стороны объектов добычи углеводородов реагирует растительность. Поэтому экологическим вопросам при разработке нефтегазовых месторождений уделяется большое внимание, проводятся экологические исследования, организуется система производственного экологического мониторинга (Мазур, 1991; Программа экологического мониторинга..., 2020) и дистанционного мониторинга (Корниенко, 2011). Для сохранения экологического состояния природных систем, размещение производственных объектов на территории производится с соблюдением существующих ограничений (Щеголькова, 2021). Известно, что добыча нефти и природного газа существенно влияет на компоненты окружающей среды Севера, почва депонирует загрязняющие вещества, которые затем поступают в растения и организм животных по пищевым цепям, сокращаются ареалы распространения биоты (Ильин, 1991; Дорожукова, 2004). Известны исследования российских ученых, характеризующие состояние растительного покрова в природных условиях (Ильина и др., 1985; Лапшина, 2004; Опекунов и др., 2012; Землянский, 2017). Зарубежные ученые исследуют взаимозависимость

растительных сообществ и природно-климатических факторов в условиях Севера (Sveinbjörnsson, 2002; Hofgaard, 2004), состав травянистых сообществ (Hunt et al., 2004; Grime, 2006; Mayer, et al., 2009). При антропогенной нагрузке исследования ряда авторов показали, что наибольшей чувствительностью на источники загрязнения нефтегазовых месторождений обладают лишайники и багульник (Опекунова и др., 2012; Землянский, 2017; Опекунова и др., 2018). Тем не менее, краснокнижная флора Ямало-Ненецкого автономного округа представлена двадцатью семью семействами покрытосеменных растений, шестью семействами папоротникообразных, одним семейством плауновидных, шестью семействами моховидных и четырьмя семействами лишайников (Красная книга..., 2010). Однако вопросы трансформации растительных сообществ в условиях техногенной нагрузки на Севере региона изучены недостаточно.

Цель наших исследований – оценить состояние естественных фитоценозов на территории мелкого Ево-Яхинского участка недр в условиях антропогенного воздействия.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Комплекс работ по производственному фитомониторингу включал исследование состояния исходных растительных сообществ в условиях антропогенной нагрузки на площади 40 км². Экологическая оценка состояния растительного покрова проводилась визуально на 14 пробных площадках (ПП) размером 10×10 м и для древесных форм 20×20 м, среди которых две пробные площадки условно фоновые (одна для торфяников, а вторая для смешанного леса и редколесья). Для травяно-кустарничкового яруса на закладываемых учетных геоботанических площадках определялись: видовое разнообразие, общее проективное покрытие, обилие по семибальной шкале Друде, для древесно-кустарниковой растительности (при наличии) контролировались: видовое разнообразие, соотношение древесных пород, сомкнутость полога, наличие или отсутствие грибов сапрофитов и паразитов на стволовой части и поверхности ветвей. Для расчета общего проективного покрытия визуально учитывалось отношение проекций всех растений на исследуемом участке (за вычетом просветов между листьями и ветвями) к общей площади, принимаемой за 100 %. Использованы результаты регулярных учётов за весенний, летний и осенний периоды 2021–2022 годов.

В работе использовались следующие ресурсы: для сосудистых растений – Популярный атлас-определитель. Дикорастущие растения (Новиков, 2002) и Определитель листостебельных мхов Центральной Сибири (Бардунов, 1969), для лишайников – Учебный определитель лишайников Средней России (Мучник, 2011).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследуемая территория – это Ево-Яхинский участок недр, который расположен территориально в Пуровском районе Ямало-Ненецкого автономного округа. Лицензионный участок представляет собой пологоволнистую заболоченную равнину с абсолютными отметками от + 35 м до + 70 м на водоразделах. Участок находится в районе речных долин с комплексом террас и поймой озерно-аллювиальных равнин и террас. На данном участке природно-территориального комплекса Заполярья сформировались природные экосистемы в условиях малой освоенности этого края. Здесь очень низкая плотность населения, поэтому природные био- и зооценозы не подвергаются антропогенной нагрузке, но формируются в суровых природно-климатических условиях.

Климатические условия территории подвергаются влиянию холодного северного моря, многолетней мерзлоты, высокого уровня циркуляции воздушных масс и теплового баланса подстилающей поверхности. В результате складывается континентальный климат с морозной долгой зимой и коротким холодным летом, непродолжительной весной и осенью.

Атмосферные осадки обильные, поэтому они являются основными источниками питания водных объектов. Основной водной артерией Ево-Яхинского участка недр является река

Евояха, которая имеет многочисленные притоки. Местность заболочена, внутри болот формируется много крупных и мелких озер. Залесенность участка 45–60 %, преобладает северная тайга с лесотундровыми и безлесными участками (ели, лиственница, реже – кедр, береза, сосна).

Ево-Яхинское месторождение углеводородного сырья площадью 40 км² открыли еще в 1980 году. В 1993 году выдали лицензию на разработку газоконденсатного месторождения до 2034 года, и в настоящее время идет интенсивная добыча природного газа и конденсата. Поэтому естественные фитоценозы оказались в условиях техногенной нагрузки. Антропогенное воздействие в определенных условиях способно привести как к олуговению тундры, так и к деградации растительности. При этом деградация происходит, если воздействие имеет площадной характер как при строительстве крупных объектов или выпасе, или же более высокую интенсивность (загрязнение отходами производства, нарушения вдоль дорог).

Ево-Яхинский участок недр расположен в подзоне лесотундры с приподнятыми таежно-болотными равнинами. Здесь встречаются грядово-холмистые лишайниковые тундры с мерзлыми болотами в понижениях рельефа и сосновыми лесами на крутых берегах рек и лиственничными редколесьями в поймах рек.

На территории имеются многочисленные современные аллювиальные отложения в виде хорошо сортированных мелкозернистых песков, которые разрабатываются как строительный материал на участке недр. В геологическом отношении с поверхности четвертичные отложения представлены верхнелепестовыми озерно-аллювиальными отложениями второй надпойменной террасы (супеси, пески, суглинки) и аллювиальными отложениями первой надпойменной террасы (супеси, пески, суглинки, торф).

Почвенный покров территории сформировался в условиях геологической среды, избыточного увлажнения, вечной мерзлоты, низких температур атмосферного воздуха и северной растительности. Здесь распространены болотные почвы и торфяно-глеевые почвы бугров.

Флора территории представлена 310 видами сосудистых растений светлохвойной тайги, где произрастают лиственницы и сосны, а также темнохвойной тайги, где преобладают кедр и ель. Кустарники и лиственные растения представлены ивой древовидной, осиной и березой. В ходе проведенного исследования идентифицировано 30 видов сосудистых растений (из них 27 видов покрытосеменных растений, 3 вида моховидных растений) и 4 вида лишайников (Бардунов, 1969; Новиков, 2002; Красная книга Ямало-Ненецкого автономного округа..., 2010; Мучник, 2011).

В природных условиях большую часть лесопокрытой площади занимают редкостойные низкостойные лиственничные (*Larix sibirica*) и березовые (*Betula pendula*) леса V–Va классов бонитета, характеризующиеся небольшой сомкнутостью крон и низкой продуктивностью. В лесных сообществах хорошо выражен лишайниковый покров и травяно-кустарничковый ярус. В качестве примеси в небольшом количестве встречаются сосна сибирская (кедр) и ель обыкновенная. Травяно-кустарничковый ярус разреженный, слабо сомкнутый.

В сплошном лишайниковом покрове с проективным покрытием 90–95 % преобладают кладина звездчатая (*Cladonia stellaris*) и оленья, а также, цетрария сосновая (*Cetraria pinastri*). Небольшими вкраплениями встречаются зеленые мхи: политрихум можжевельниковый (*Polytrichum juniperum*) и аулакомниум болотный (*Aulacomnium* sp.).

На территории Ево-Яхинского участка недр в результате хозяйственной деятельности появились техногенные поверхностные образования в виде песчаных обнажений в карьерах и насыпных техногенных грунтов при строительстве и эксплуатации производственных площадок и дорог. Воздействие на растительный мир оказывается тремя группами факторов: механические, химические и физические.

Для исследований на территории были выбраны участки на различных расстояниях от объектов воздействия на растительность: 30, 200, 210, 3730 м от кустов скважин, 50 и 100 м от карьера, вблизи автодороги и временного жилого комплекса, 1440 и 2750 м от

производственных площадок. По природным комплексам учитывали фитоценозы на затопляемой части поймы, крупнобугристом торфянике, в березовых, лиственничных и смешанных елово-лиственнично-березово-кедровых лесах различных сочетаний.

Характеристика пробных площадок или пунктов наблюдения за растительными сообществами приведена в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика пунктов наблюдения за растительными сообществами

Описание местоположения	Название растительной ассоциации
1УК 1440м севернее УКПГ (установка комплексной подготовки газа)	Осоково-кочкарная затопляемая часть поймы
2К В районе В3 и С (временные здания и сооружения)	Смешанное елово-березовое редколесье
3К В районе УКПГ, В3 и С, и В ЖК (временный жилой комплекс)	Крупнобугристый торфяник кустарничково-мохово-лишайниковый
4К В районе куста № 86 скважин и площадки В3 и С №2 (ПБО – Промышленно-бытовые объекты)	Лиственнично-ерниково-лишайниковое редколесье
5К В 210 м юго-западнее куста № 83	Смешанный березово-елово-лиственничный кустарничково-зеленомошный лес
6К В 210м юго-восточнее куста № 81	Смешанное елово-лиственничное кустарничково-лишайниково-моховое редколесье
7УК В районе узла пуска и приёма средств очистки и диагностики (УППСОД) и куста № 82	Лиственничная ерниково-лишайниковая редина
8К В 300м юго-западнее куста № 84	Крупнобугристый торфяник кустарничково-мохово-лишайниковый
9К В 200 м южнее куста № 85	Березово-лиственничное с кедром и елью кустарничково-лишайниково-моховое редколесье
10УФ В 3,73 км северо-западнее куста № 84	Смешанный березово-лиственничный зеленомошный лес
11УФ В 2,75км южнее площадки В3 и С № 2 (ПБО)	Крупнобугристый торфяник кустарничково-мохово-лишайниковый
12К В 50 м северо-западнее карьера № 4	Крупнобугристый торфяник кустарничково-мохово-лишайниковый
13К В 100 м южнее карьера № 2	Смешанный елово-лиственничный кустарничково-зеленомошный лес
14К В 30м севернее куста № 82	Смешанное елово-лиственничное кустарничково-лишайниково-моховое редколесье

В районе 84 скважины пробная площадка была выбрана, как условно фоновая для древесно-кустарникового яруса, а скважина 2 с временными зданиями, сооружениями и промышленно-бытовыми объектами, как условно фоновая для травянисто-кустарникового яруса. Участки 1 и 7 находились на значительном удалении от промышленных объектов, поэтому мы их определили как условно контрольные.

В соответствии с техногенной нагрузкой, изменяющей места распространения типичных фитоценозов, выбранные площадки можно классифицировать следующим образом:

- техногенные поверхностные образования в виде песчаных обнажений в карьерах и насыпных техногенных грунтов при строительстве производственных площадок и дорог на переувлажненных участках. Здесь растительный покров значительно подвержен техногенному воздействию;

- территория санитарно-защитных зон производственных объектов и охранных зон линейных объектов. Территория подвергается химическому воздействию при выбросах загрязняющих веществ в атмосферный воздух и физическим воздействиям (шум).

- территория зоны влияния с остаточными воздействиями на растительный мир;
- территория с естественными условиями обитания растений и животных.

Результаты наблюдений за растительным покровом на отдельных площадках за вегетационный период в 2021–2022 годы приведены в таблицах 2–3.

Таблица 2

Результаты наблюдений за травянисто-кустарниковым ярусом
на территории Ево-Яхинского участка недр

Виды растительности	Средняя высота, м	Сомкнутость кроны, доля	Обилие Друде, балл	Проективное покрытие, %
1	2	3	4	5
1УК				
Травянисто-кустарниковый ярус				
Пушица влагалищная – <i>Eriophorum vaginatum</i> L.	–	–	Sol	0,02
Осока кругловатая – <i>Carex ruesanensis</i> Kudo	–	–	Un	0,01
Осока шнурокорневая – <i>Carex chordorrhiza</i>	–	–	Sol	0,025
Пушица многоколосковая – <i>Eriophorum angustifolium</i> Honck.	–	–	Cop1	0,2
Осока острая – <i>Carex acuta</i> L.	–	–	Cop1	0,2
Осока мечелистная – <i>Carex ensifolia</i> (Gorodkov) Holub	–	–	Sp	0,1
2К				
Древесный ярус				
Береза бородавчатая – <i>Betula pendula</i> Roth	3	0,01	–	–
Лиственница сибирская – <i>Larix sibirica</i> L.	3,2	0,3	–	–
Ель сибирская – <i>Picea obovata</i> L.	2,5	0,2	–	–
Кустарниковый ярус				
Ольховник кустарниковый – <i>Alnaster fruticosus</i> L.	0,6	–	Un	–
Карликовая береза – <i>Betula nana</i> L.	0,3	–	Un	–
Травянисто-кустарниковый ярус				
Арктополевица широколистная – <i>Arctagrostis latifolia</i> L.	–	–	Cop 2	0,5
Хвощ полевой – <i>Equisetum arvense</i> L.	–	–	Un	0,001
Осока кругловатая – <i>Carex ruesanensis</i> Kudo	–	–	Sol	0,01
Осока шнурокорневая – <i>Carex chordorrhiza</i>	–	–	Un	0,001
Пушица многоколосковая – <i>Eriophorum angustifolium</i> Honck	–	–	Sp	0,01
Кострец вогульский – <i>Bromopsis vogulica</i> (Socz.) Holub	–	–	Sol	0,01
Осока мечелистная – <i>Carex ensifolia</i> (Gorodkov) Holub	–	–	Un	0,001
Мохово-лишайниковый ярус				
Мхи: <i>Sphagnum palustre</i> L., <i>Polytrichum juniperum</i> Hedw, <i>Aulacomnium turgidum</i> L.	–	–	–	0,5
3К				
Древесный ярус				
Береза бородавчатая – <i>Betula pendula</i> Roth	1,6–2,3	–	Un	0,001
Лиственница сибирская – <i>Larix sibirica</i> L.	3,4	–	Un	0,001

Оценка состояния естественных биоценозов типичной растительности
на территории Ево-Яхинского участка недр

Таблица 2 (продолжение)

1	2	3	4	5
Кустарниковый ярус				
Ольховник кустарниковый – <i>Alnaster fruticosus</i> L.	0,5	–	Sp	–
Карликовая береза – <i>Betula nana</i> L.	0,3	–	Sp	–
Травянисто-кустарничковый ярус				
Багульник стелющийся – <i>Ledum decumbens</i> L.	–	–	Sp	0,1
Кобрезия субголарктическая – <i>Kobresia simpliciuscula</i> var. <i>subholarctica</i> (Egor.) A.E. Kozhevnikov	–	–	Sol	0,012
Осока кругловатая – <i>Carex ruesanensis</i> Kudo	–	–	Sol	0,04
Водяника черная – <i>Empetrum nigrum</i> L.	–	–	Sol	0,0021
Мохово-лишайниковый ярус				
Лишайники: кладония оленья, лесная – <i>Cladina rangiferina, sylvatica</i> L., цетрария или кладония снежная – <i>Cetraria nivalis</i>	–	–	–	0,84
Мхи: <i>Sphagnum palustre</i> L., <i>Polytrichum juniperum</i> Hedw, <i>Aulacomnium turgidum</i> L.	–	–	–	0,11
8К				
Древесный ярус				
Лиственница сибирская – <i>Larix sibirica</i> L.	5,4	–	–	0,01
Травянисто-кустарничковый ярус				
Багульник стелющийся – <i>Ledum decumbens</i> L.	–	–	–	0,1
Кобрезия субголарктическая – <i>Kobresia simpliciuscula</i> var. <i>subholarctica</i> (Egor.)	–	–	–	0,1
Морошка – <i>Rubus chamaemorus</i> L.	–	–	–	0,2
Осока шнурокорневая – <i>Carex chordorrhiza</i>	–	–	–	0,001
Осока острая – <i>Carex acuta</i> L.	–	–	–	0,01
Мятлик болотный – <i>Poa palustris</i> L.	–	–	Sp	0,1
Осока мечелистная – <i>Carex ensifolia</i> (Gorodkov) Holub	–	–	Sp	0,1
Водяника черная – <i>Empetrum nigrum</i> L.	–	–	Sp	0,1
Мохово-лишайниковый ярус				
Лишайники: кладония оленья, лесная – <i>Cladina rangiferina, sylvatica</i> ; цетрария или кладония снежная – <i>Cetraria nivalis</i>	–	–	Cop	0,3
Мхи: <i>Sphagnum palustre</i> L., <i>Polytrichum juniperum</i> Hedw, <i>Aulacomnium turgidum</i> L.	–	–	Cop	0,6
11 УФ				
Кустарниковый ярус				
Ольховник кустарниковый – <i>Alnaster fruticosus</i>	0,4	–	Sp	–
Карликовая береза – <i>Betula nana</i> L.	0,2	–	Sp	–
Ива полярная – <i>Salix polaris</i> Wahlenb.	0,4	–	Sol	–
Травянисто-кустарничковый ярус				
Багульник стелющийся – <i>Ledum decumbens</i>	–	–	Sp	0,1
Кобрезия субголарктическая – <i>Kobresia simpliciuscula</i> var. <i>subholarctica</i> (Egor.)	–	–	Sp	0,1
Осока кругловатая – <i>Carex ruesanensis</i> Kudo	–	–	Un	0,01
Осока шнурокорневая – <i>Carex chordorrhiza</i>	–	–	Sp	0,011
Пушица многоколосковая – <i>Eriophorum polystachion</i> L.	–	–	Sp	0,1
Осока острая – <i>Carex acuta</i> L.	–	–	Sp	0,15

Таблица 2 (продолжение)

1	2	3	4	5
Мятлик болотный – <i>Poa palustris</i> L.	–	–	Sol	0,01
Кострец вогульский – <i>Bromopsis vogulica</i> (Socz.) Holub	–	–	Sol	0,01
Мохово-лишайниковый ярус				
Лишайники: кладония оленья, лесная – <i>Cladina rangiferina, sylvatica</i> , цетрария или кладония снежная – <i>Cetraria nivalis</i>	–	–	–	0,5
Мхи: <i>Sphagnum palustre</i> L., <i>Polytrichum juniperum</i> Hedw, <i>Aulacomnium turgidum</i> L.	–	–	–	0,2
12К				
Древесный ярус				
Лиственница сибирская – <i>Larix sibirica</i> L.	3	–	Un	–
Сосна сибирская – <i>Pinus sibirica</i> Du Tour	1,9	–	Un	–
Кустарниковый ярус				
Ольховник кустарниковый – <i>Alnaster fruticosus</i>	0,3	–	Sp	–
Травянисто-кустарничковый ярус				
Толокнянка – <i>Arctostaphylos</i> Adans.	–	–	Sp	0,21
Осока немногплодная – <i>Carex supina</i> Willd. ex Wahlenb	–	–	Sol	0,01
Мохово-лишайниковый ярус				
Лишайники: кладония оленья, лесная – <i>Cladina rangiferina, sylvatica</i> , цетрария или кладония снежная – <i>Cetraria nivalis</i>	–	–	–	0,5

Торфяники исследуемых площадок имеют традиционно от трех до четырех ярусов. Наиболее характерными видами для травянисто-кустарничкового яруса выступают представители семейства осоковые и мятликовые. В частности, осока круглолистная, шнуракорневая, острая (*Carex ruesanensis* Kudo, *chordorrhiza, acuta* L.), осока мечелистная (*Carex bigelowiis* ssp. *ensifolia* (Gorodkov) Holub), мятлик болотный (*Poa palustris* L.), арктополевица широколистная (*Arctagrostis latifolia* L.), с островками краснокнижной кобрезия субголарктическая (*Kobresia subholarctica* Egor.). На второй площадке обнаружен в незначительных количествах хвощ полевой (*Equisetum arvense*). Единичными экземплярами кустарничкового яруса являются ива полярная (*Salix polaris*), ольховник кустарниковый (*Alnaster fruticosus*) и карликовая береза (*Betula nana* L.).

По внешним признакам все растения оценивались как жизнеспособные, проявлений дигрессии или отмирания филло- и ризосферы не обнаружено. Следов механического повреждения или явного дехлогоза на территории санитарно-защитной зоны не отмечено.

К типичным видам исследуемой территории древесного яруса относятся лиственница сибирская (*Larix sibirica* L.), береза бородавчатая (*Betula pendula* Roth) и даже ель сибирская (*Picea obovata* L.). Наиболее характерными мохово-лишайникового яруса выступают три вида мхов: *Sphagnum*, *Polytrichum* sp., *Aulacomnium* sp. и три вида лишайников: кладония оленья, лесная (*Cladina rangiferina, sylvatica*), цетрария или кладония снежная (*Cetraria nivalis*). Суммарно проективное покрытие достигает 90 %.

На исследуемой территории в древесном ярусе были идентифицированы сибирская лиственница и сосна. Изредка, на некоторых площадках, в древесном ярусе встречалась береза бородавчатая. Кустарничковый ярус представлен широколиственными и мелколиственными экземплярами карликовой березы, ольхи и изредка – ивы. Растительность расположена в четкие четыре яруса. Первый ярус – лиственница, сосна, изредка ель высотой от 2,0 до 4,4 м, береза бородавчатая от 0,9 до 4 м; второй ярус – ольховник кустарниковый, ива полярная и карликовая береза (от 0,3 до 0,6 м); третий ярус – травянисто-кустарничковый

Таблица 3

Результаты наблюдений за древесно-кустарниковым ярусом
на территории Ево-Яхинского участка недр

Виды растительности	Средняя высота, м	Сомкнутость кроны, доля	Обилие Друде, балл	Проективное покрытие, %
1	2	3	4	5
4К				
Кустарниковый ярус				
Ольховник кустарниковый – <i>Alnaster fruticosus</i> L.	0,6	–	Sol	–
Карликовая береза – <i>Betula nana</i> L.	0,3	–	Sp	–
Травянисто-кустарничковый ярус				
Багульник стелющийся – <i>Ledum decumbens</i> L.	–	–	Sp	0,1
Осока малоплодная или Седакова (<i>Carex sedakowii</i> С.А. mey. ex. Meinsh. Steud. В. Boivin)	–	–	Sol	0,01
Хвощ полевой – <i>Equisetum arvense</i> L.	–	–	Sol	0,014
Осока шнурокорневая – <i>Carex chondrorrhiza</i> L.	–	–	Sp	0,1
Осока острая – <i>Carex acuta</i> L.	–	–	Сop	0,3
Мохово-лишайниковый ярус				
Мхи: <i>Sphagnum palustre</i> L., <i>Polytrichum juniperum</i> Hedw, <i>Aulacomnium turgidum</i> L.	–	–	–	0,2
5К				
Древесный ярус				
Береза бородавчатая – <i>Betula pendula</i> Roth	3,4–4	0,5	–	–
Ель сибирская – <i>Picea obovata</i> Ledeb.	2–2,6	0,2	–	–
Сосна сибирская – <i>Pinus sibirica</i> Du Tour	2,7–3,2	0,1	–	–
Кустарниковый ярус				
Ольховник кустарниковый – <i>Alnaster fruticosus</i> L.	0,6	–	Un	–
Карликовая береза – <i>Betula nana</i> L.	0,3	–	Un	–
Травянисто-кустарничковый ярус				
Осока малоплодная или Седакова (<i>Carex sedakowii</i> С.А. mey. ex. Meinsh. Steud. В.Boivin)	–	–	Sp	0,1
Брусника малая – <i>Vaccinium minus</i> (Lodd.) Worosch	–	–	Sol	0,01
Арктополевица широколистная- <i>Arctagrostis latifolia</i> L.	–	–	Sp	0,1
Пушица многоколосковая – <i>Eriophorum angustifolium</i> Honck	–	–	Sp	0,1
Княженика обыкновенная – <i>Rubus arcticus</i> L.	–	–	Sol	0,01
Мохово-лишайниковый ярус				
Мхи: <i>Sphagnum palustre</i> L., <i>Polytrichum juniperum</i> Hedw, <i>Aulacomnium turgidum</i> L.	–	–	–	0,2
6К				
Древесный ярус				
Сосна сибирская – <i>Pinus sibirica</i> Du Tour	2,4	0,01	–	–
Кустарниковый ярус				
Карликовая береза – <i>Betula nana</i> L.	0,3–0,35	–	Sp	0,2
Ива деревцевидная – <i>Salix arbuscula</i> L.	0,6	–	Sol	–

Таблица 3 (продолжение)

1	2	3	4	5
Голубика обыкновенная – <i>Vaccinium uliginosum</i> L.	–	–	Cop	0,2
Травянисто-кустарничковый ярус				
Кипрей узколистный – <i>Chamaerion angustifolium</i> L.	–	–	Sp	0,1
Пушица влагалищная – <i>Eriophorum vaginatum</i> L.	–	–	Sol	0,012
Хвощ полевой – <i>Equisetum arvense</i> L.	–	–	Sol	0,01
Осока кругловатая – <i>Carex rupestris</i> L.	–	–	Sol	0,01
Осока шнурокорневая – <i>Carex chordorrhiza</i>	–	–	Cop	0,2
Пушица многоколосковая – <i>Eriophorum angustifolium</i> L.	–	–	Cop	0,3
Осока острая – <i>Carex acuta</i> L.	–	–	Cop	0,2
Мятлик болотный – <i>Poa palustris</i> L.	–	–	Cop	0,01
Осока мечелистная – <i>Carex ensifolia</i> (Gorodkov) Holub	–	–	Cop	0,2
Княженика обыкновенная – <i>Rubus arcticus</i> L.	–	–	Cop	0,2
7УК				
Кустарниковый ярус				
Ольховник кустарниковый – <i>Alnaster fruticosus</i> L.	0,6	–	Sol	–
Карликовая береза – <i>Betula nana</i> L.	0,3	–	Sp	–
Травянисто-кустарничковый ярус				
Багульник стелющийся – <i>Ledum decumbens</i>	–	–	Sp	0,1
Пушица влагалищная – <i>Eriophorum vaginatum</i> L.	–	–	Sp	0,14
Хвощ полевой – <i>Equisetum arvense</i> L.	–	–	Sol	0,01
Осока кругловатая – <i>Carex rupestris</i> L.	–	–	Sp	0,13
Пушица многоколосковая – <i>Eriophorum angustifolium</i> Honck	–	–	Sp	0,12
Осока острая – <i>Carex acuta</i> L.	–	–	Sp	0,14
Мятлик болотный – <i>Poa palustris</i> L.	–	–	Sp	0,11
Осока мечелистная – <i>Carex ensifolia</i> (Gorodkov) Holub	–	–	Sp	0,15
Мохово-лишайниковый ярус				
Мхи: <i>Sphagnum palustre</i> L., <i>Polytrichum juniperum</i> Hedw, <i>Aulacomnium turgidum</i> L.	–	–	–	0,3
9К				
Древесный ярус				
Береза повислая или бородавчатая – <i>Betula pendula</i> Roth.	1,2–3,2	0,01	Sol	-
Кустарниковый ярус				
Карликовая береза – <i>Betula nana</i> L.	0,3	–	Sol	–
Ива сизая – <i>Salix glauca</i> L.	0,6	–	Sol	–
Травянисто-кустарничковый ярус				
Арктополевица широколистная – <i>Arctagrostis latifolia</i> L.	–	–	Sol	0,013
Пушица влагалищная – <i>Eriophorum vaginatum</i> L.	–	–	Sol	0,02
Осока кругловатая – <i>Carex rupestris</i> L.	–	–	Sp	0,1
Осока шнурокорневая – <i>Carex chordorrhiza</i> L.	–	–	Sp	0,1
Осока острая – <i>Carex acuta</i> L.	–	–	Cop	0,2

Оценка состояния естественных биоценозов типичной растительности
на территории Ево-Яхинского участка недр

Таблица 3 (продолжение)

1	2	3	4	5
Кострец вогульский <i>Bromopsis pumPELLIANA</i> ssp. <i>vogulica</i> (Socz.) Tzvelev	–	–	Sp	0,1
Овсяница овечья – <i>Festuca ovina</i> L.	–	–	Sp	0,12
Мохово-лишайниковый ярус				
Лишайники: <i>Cladina rangiferina</i> , <i>Cl. sylvatica</i> , <i>Cetraria nivalis</i>	–	–	–	0,1
Мхи: <i>Sphagnum palustre</i> L., <i>Polytrichum juniperum</i> Hedw, <i>Aulacomnium turgidum</i> L.	–	–	–	0,2
10УФ				
Древесный ярус				
Береза бородавчатая – <i>Betula pendula</i> Roth	2,6	0,2	–	–
Сосна сибирская – <i>Pinus sibirica</i> Du Tour	5	0,4	–	–
Кустарниковый ярус				
Ольховник кустарниковый – <i>Alnaster fruticosus</i> L.	0,6	–	Sol	–
Ива сизая – <i>Salix glauca</i> L.	0,5	–	Sol	–
Голубика обыкновенная – <i>Vaccinium uliginosum</i> L.	–	–	Sp	0,19
Травянисто-кустарничковый ярус				
Багульник стелющийся – <i>Ledum decumbens</i> (Ait.) Lodd. ex Steud	–	–	Sp	0,11
Брусника малая – <i>Vaccinium minus</i> (Lodd.) Worosch	–	–	Sp	0,16
Хвощ полевой – <i>Equisetum arvense</i> L.	–	–	Sol	0,01
Осока струнокорневая или плетевидная – <i>Carex chordorrhiza</i> L.	–	–	Sol	0,05
Осока острая – <i>Carex acuta</i> L.	–	–	Sp	0,16
Вейник наземный – <i>Calamagrostis epigejos</i> L.	–	–	Sol	0,02
Мохово-лишайниковый ярус				
Лишайники: <i>Cladina rangiferina</i> , <i>Cl. sylvatica</i> , <i>Cetraria nivalis</i> L.	–	–	–	0,1
Мхи: <i>Sphagnum palustre</i> L., <i>Polytrichum juniperum</i> Hedw, <i>Aulacomnium turgidum</i> L.	–	–	–	0,2
13К				
Древесный ярус				
Лиственница сибирская – <i>Larix sibirica</i> L.	4,4	0,1	Sol	–
Сосна сибирская – <i>Pinus sibirica</i> Du Tour	3,4	0,6	Sol	–
Кустарниковый ярус				
Ольховник кустарниковый – <i>Alnaster fruticosus</i> L.	0,5	0,6	–	–
Травянисто-кустарничковый ярус				
Багульник стелющийся – <i>Ledum decumbens</i> L.	–	–	Sp	0,12
Кострец вогульский – <i>Bromopsis pumPELLIANA</i> ssp. <i>vogulica</i> (Socz.) Tzvelev	–	–	Sol	0,02
Водяника черная – <i>Empetrum nigrum</i> L.	–	–	Sol	0,01
Мохово-лишайниковый ярус				
Лишайники: <i>Cladina rangiferina</i> , <i>Cl. sylvatica</i> , <i>Cetraria nivalis</i> L.	–	–	–	0,5
14К				
Древесный ярус				
Береза бородавчатая – <i>Betula pendula</i> Roth	0,9	0,0001	-	-

Таблица 3 (продолжение)

1	2	3	4	5
Кустарниковый ярус				
Ольховник кустарниковый – <i>Alnaster fruticosus</i> L.	0,5	–	Sp	–
Карликовая береза – <i>Betula nana</i> L.	0,2	–	Sp	–
Травянисто-кустарничковый ярус				
Багульник стелющийся – <i>Ledum decumbens</i> L.	–	–	Sp	0,1
Осока малоплодная или Седакова (<i>Carex sedakowii</i> С.А. mey. ex. Meinsh. Steud. В. Boivin)	–	–	Sp	0,1
Морошка – <i>Rubus chamaemorus</i> L.	–	–	Sol	0,02
Осока кругловатая – <i>Carex rupestris</i> Kudo	–	–	Un	0,001
Осока шнурокорневая – <i>Carex chordorrhiza</i> L.	–	–	Sp	0,011
Пушица многоколосковая – <i>Eriophorum angustifolium</i> Honck.	–	–	Sp	0,1
Осока острая – <i>Carex cuta</i> L.	–	–	Sp	0,15
Мятлик болотный – <i>Poa palustris</i> L.	–	–	Sol	0,001
Осока мечелистная – <i>Carex ensifolia</i> (Gorodkov) Holub	–	–	Sp	0,1
Кострец вогульский <i>Bromopsis pumpehiana</i> ssp. <i>vogulica</i> (Socz.) Tzvelev	–	–	Sol	0,001
Княженика обыкновенная – <i>Rubus arcticus</i> L.	–	–	Sol	0,001
Мохово-лишайниковый ярус				
Лишайники: кладония оленья, лесная – <i>Cladina rangiferina, sylvatica</i> L., <i>Cetraria nivalis</i> L.	–	–	–	0,6
Мхи: <i>Sphagnum palustre</i> L., <i>Polytrichum juniperum</i> Hedw., <i>Aulacomnium turgidum</i> L.	–	–	–	0,1

представлен багульником и ягодником (водяника, голубика, морошка, княженика), а также видами некоторых родов класса однодольных: *Carex*, *Eriophorum*, *Poa*, *Calamagrostis*. В четвертом мохово-лишайниковом ярусе доминируют лишайники рода кладония (*Cladina rangiferina*, *Cl. sylvatica*), цетрария (*Cetraria nivalis*) и мхи зеленые (*Sphagnum*, *Polytrichum* sp., *Aulacomnium* sp.).

В связи со сложным рельефом местности и его заболоченности, абсолютно фоновые участки выделить не представляло возможности. Поэтому условно фоновыми нами были выбраны участки, расположенные максимально удаленно ото всех производственных, промышленно-бытовых объектов и от наиболее сложных из них, к которым можно отнести УКПГ, УППСОД и карьеры. Анализируя древесно-кустарниковую флору исследуемого участка месторождений, сравнивая пробную площадку 10 (фоновый участок) с контрольными (2, 4, 5, 7, 9, 13, 14), можно сделать вывод, что только у площадки 4 отсутствует древесный ярус. Это может быть связано с наиболее негативным влиянием на растительность промышленных объектов УКПГ и кустовых скважин, а особенно их сочетательное воздействие. Тем не менее воздействие производственных объектов (УППСОД и кустовых скважин) на площадке 7 не явилось фактором уменьшения количества ярусов в древесно-кустарниковых сообществах. Видовое разнообразие в сравнении с фоновой площадкой отсутствует. А в травянисто-кустарничковом ярусе площадок 6 и 14 разнообразие даже больше.

Ягодники являются чувствительными элементами растительных сообществ лесотундры. Поэтому их отсутствие на площадках 1, 2, 4, 7, 9, 11 может объясняться наличием на этих участках промышленно-бытовых объектов.

Тем не менее, визуальный мониторинг пробных площадок не выявил механических повреждений крон, стволов и корней древесно-кустарникового яруса. Густота крон деревьев по сравнению с фоновыми площадками соответствовала для господствующих видов деревьев и кустарников в древостое. Травянисто-кустарничковая растительность представляла собой флористически полноценные сообщества различного сукцессионного статуса без признаков дигрессии. Морфологические признаки выявленных видов соответствовали средним статистическим параметрам ненарушенной растительности по флористическому разнообразию и проективному покрытию.

Также установлено, что состояние растительных сообществ, в пределах контрольных и условно контрольных пробных площадок на территории санитарно-защитной зоны, а также в зоне влияния объектов месторождения, значительно не отличается от условно-фоновых пробных площадок. Обилие видов, скученность произрастания отдельных особей и фаза их вегетации соответствуют зональным особенностям и сезону. Проективное покрытие наибольшее в травянисто-кустарничковом ярусе, занятом осоками и ягодниками, а также в мохово-лишайниковом ярусе. Поэтому можно утверждать, что производственные объекты не оказывают непоправимого воздействия на растительные сообщества исследуемой территории.

ВЫВОДЫ

1. В соответствии с техногенной нагрузкой изменения природных ландшафтов разделяли на четыре группы: техногенные поверхностные образования в виде песчаных обнажений в карьерах и насыпных техногенных грунтов, территория санитарно-защитных зон производственных объектов и охранных зон линейных объектов, территория зоны влияния с остаточными воздействиями на растительный мир, территория с естественными условиями фитоценозов лесотундры.

2. На данном этапе, после почти 30 лет освоения Ево-Яхинского участка недр, антропогенная нагрузка исследуемой территории, вызванная проведением строительных и эксплуатационных работ, не приводит к значимому ухудшению состояния существующих растительных сообществ

3. По внешним признакам растения были оценены как жизнеспособные, проявлений дигрессии или отмирания филло- и ризосферы не обнаружено. Следов механического или химического загрязнения не отмечено.

4. Установлено, что состояние растительных сообществ, в пределах контрольных и условно контрольных пробных площадок, не отличается от условно-фоновых пробных площадок.

5. Обилие видов, скученность произрастания отдельных индивидов и фаза их вегетации соответствуют зональным особенностям и сезону. Проективное покрытие наибольшее в травянисто-кустарничковом ярусе, занятом осоками и ягодниками, а также в мохово-лишайниковом ярусе.

6. На некоторых участках встречались уникальные экземпляры краснокнижных представителей во всех ярусах. Это представители семейства осоковых, мятликовых, кладониевых и ивовых. Данные результаты могут служить обоснованием для вывода о достаточно низкой антропогенной нагрузке на исследуемой территории.

Список литературы

- Бардунов Л. В. Определитель листостебельных мхов Центральной Сибири. – Ленинград: Наука. – 1969. – 330 с.
- Дорожукова С. Л. Оценка воздействия нефтегазодобывающей промышленности Тюменской области на окружающую среду: монография. – М.: Промнефтегазэкология. – 2004. – 32 с.
- Землянский В. А. Растительность тундр Северного Ямала в условиях антропогенной трансформации. // Биоразнообразие экосистем Крайнего Севера: инвентаризация, мониторинг, охрана [Электронный ресурс]: III Всероссийская научная конференция: 20–24 ноября 2017 года – Сыктывкар: Издательство ИБ Коми НЦ УрО

- РАН. – 2017. – С. 23–26. – Режим доступа: https://ib.komisc.ru/add/conf/tundra/wp-content/uploads/tundra_reports_theses.pdf (просмотр 18.06.23)
- Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение.— Новосибирск: «Наука». – 1991. – 151 с.
- Корниенко С. Г. Оценка трансформаций природных ландшафтов Тазовского полуострова по данным космической съемки // География и природные ресурсы. – 2011. – № 1. – С. 67–73.
- Красная книга Ямало–Ненецкого автономного округа: животные, растения, грибы / [Отв. ред. С. Н. Эктова, Д. О. Замятин]. – Екатеринбург: Издательство «Баско» – 2010. – 308 с.
- Лапшина Е.Д. Флора болот юго–востока Западной Сибири. – Томск: Издательство Томского университета. – 2004. – 296 с.
- Мазур И. И. Экология строительства объектов нефтяной и газовой промышленности. – М.: Недра. – 1991. – 279 с.
- Мучник Е. Э. Учебный определитель лишайников Средней России: учебно-методическое пособие. – Рязань. – 2011. – 360 с.
- Новиков В. С. Популярный атлас-определитель. Дикорастущие растения. – М.: Дрофа. – 2002. – 416 с.
- Опекунова М. Г., Опекунов А. Ю., Арестова И. Ю., Кукушкин С.Ю., В. В. Спасский, М. А. Никитина, Е. Ю. Елсукова, Н. А. Шейнерман, И. С., Натбаев И. С. Использование методов биоиндикации и биотестирования в оценке экологического состояния территории газоконденсатных месторождений севера Западной Сибири [Электронный ресурс] // Вестник Санкт–Петербургского университета. Науки о Земле. – 2018. – С. 326–341. Режим доступа: <https://escjournal.spbu.ru/article/view/2758> (просмотр 18.06.23)
- Опекунов А. Ю., Опекунова М. Г., Арестова И. Ю., Кукушкин С. Ю. Оценка экологического состояния природной среды районов добычи нефти и газа в ЯНАО // Вестник Санкт – Петербургского университета. – Сер. 7. – 2012. – С. 87–101.
- Опекунова М. Г., Опекунов А. Ю., Кукушкин С. Ю., Арестова И. Ю. Индикаторы антропогенной нагрузки на природно-территориальные комплексы нефтегазоконденсатных месторождений Ямало-Ненецкого автономного округа // Вестник Санкт-Петербургского университета. – Сер. 7. – 2007. – С. 124–127
- Программа экологического мониторинга окружающей природной среды Ево-Яхинского участка недр в 2020–2022 годах – ООО «Мобильная экологическая лаборатория». – 2020. – 129 с.
- Ильина И. С., Лапшина Е. И., Лавренко Н. Н., Мельцер Л. И., Романова Е. А., Богоявленский Б. А., Махно В. Д. Растительный покров Западно – Сибирской равнины / [Ред. В. В. Воробьев, А. В. Белов]. – Новосибирск: Наука: Сибирское отделение. – 1985. – 251 с.
- Щеголькова А. А. Пространственная организация освоения газовых ресурсов Ямальской нефтегазоносной области // Арктика и Север. – 2021. – № 45. – С. 61–74.
- Hofgaard, A. Feedbacks between northern terrestrial ecosystems and climate // Polar Research. – 2004. – Vol. 124. – P. 23–25.
- Sveinbjörnsson, B., Hofgaard A. & Lloyd A. Natural causes of the tundra – taiga boundary // Ambio Special Report. – 2002. – N 12. – P. 23–29.
- A new practical tool for deriving a functional signature for herbaceous vegetation / R. Hunt, J.G. Hodgson, K. Thompson et al. // Applied Vegetation Science. – 2004. – Vol. 7, N 2. – P. 163–170.
- Effects of grazing exclusion on species composition in high-altitude grasslands of the central Alps / R. Mayer, R. Kaufmann, K. Vorhauser [et al.] // Basic Appl. Ecol. – 2009. – Vol. 10. – N 5. – P. 447–455.
- Grime J. P. Plant strategies, vegetation processes, and ecosystem properties. – Chichester; New York: Wiley. – 2006. – P. 1–460.
- Integrated screening validates primary axes of specialisation in plants // Oikos Journal – 1997. – Vol. 79, N 2. – P. 259–281.

Grivko E. V., Gamm T. A., Bikbaeva L. L. Assessment of the state of natural biocenoses of typical vegetation on the territory of the Evo-Yakhinsky subsoil plot // Ekosistemy. 2023. Iss. 36. P. 148–161.

Evo-Yakhinsky oil and gas subsoil plot belongs to the forest-tundra subzone in terms of forest-vegetation zoning; according to geobotanical zoning, it is classified as North-Nadym-Purovsky landscape province of elevated taiga-bog plains, represented by a combination of ridge and hill lichen tundra with frozen swamps and riverine larch sparse woodlands. Most of the forest area is occupied by sparse low-bonitet larch (*Larix sibirica*) and birch (*Betula pendula*) forests of V-Va quality classes, characterized by low crown density and low productivity. *Cladinarangiferina* (*Cladinarangiferina*) and *Flavocetraria* (*Cetrarianivalis*) dominate in the forests. Green mosses: juniper polytrichum moss (*Polytrichum juniperum*) grow in small patches. It was found out that the state of plant communities growing on the control and conditionally control trial plots both within the territory of the sanitary protection zone and in the zone influenced by the field facilities of the oil deposit, does not differ from the samples taken from conditionally background trial plots. The abundance of species, density of some growing individuals and their vegetation phase correspond to zonal peculiarities and season. The research proves that the vegetation in anthropogenic surface formations in the form of sandy outcrops in quarries and technogenic bulk soils cover was completely destroyed during the construction of industrial facilities and roads in zones with excessive water saturation. Nevertheless, substantial populations of red-listed representatives of sedge, meadow grass, cladonia and willow families were found at all trial plots, indirectly reflecting the insignificant degree of anthropogenic load in the study area. Thus, as a result of phytocenotic studies conducted on the territory of the Evo-Yakhinsky subsoil area, located in the forest tundra subzone of elevated taiga-bog plains, new data clarifying the species composition of vegetation of this region were obtained.

Key words: oil and gas subsoil area; natural biocenoses; forest tundra vegetation; projective cover; types of impact.

Поступила в редакцию 06.07.23

Принята к печати 04.10.23

УДК 598.288.6 (470.62)

DOI 10.5281/zenodo.10377121

Особенности распространения и характер пребывания красноголового королька (*Regulus ignicapillus*) на Западном Кавказе

Тильба П. А.

Сочинский национальный парк
Сочи, Россия
ptilba@mil.ru

Представлены результаты изучения особенностей распространения и характера пребывания красноголового королька *Regulus ignicapillus* (Temminck, 1820) на Западном Кавказе. Красноголовый корольк на Кавказе населяет южные склоны Главного кавказского хребта. Его гнездование первоначально было установлено в 1986 году в Абхазии. В дальнейшем, гнездовые находки красноголового королька подтверждены на Западном Кавказе, в 2003 и 2010 годах. Красноголовый корольк населяет хвойные, а также низкогорные влажные лиственные леса с присутствием вечнозелёных древесных пород. Проникает также в зелёные насаждения населённых пунктов. Максимальные показатели плотности населения этого вида в низкогорных лиственных лесах достигают в отдельные годы 42,5 особей на км². В хвойных лесах она несколько выше – до 47,5 особей на км². Распространение красноголового королька выявлено до последних поднятий Большого Кавказа в его крайней северо-западной части у пос. Джубга, на высоте 200–300 м н. у. м., где находится изолированный участок его ареала. Установлено, что в среднегорных хвойных лесах красноголовый корольк встречается только в нижней их части до 1500 м н. у. м. Выше его сменяет другой вид – желтоголовый корольк *Regulus regulus* (Linnaeus, 1758). Вне периода размножения в осенне-зимний период и ранней весной хорошо выражены кочёвки красноголовых корольков, преимущественно в низкогорных широколиственных лесах и в культурных насаждениях населённых пунктов. В причерноморских колхидских лесах на местах гнездования птицы регистрируются круглогодично. Полученные сведения об особенностях распространения, численности красноголового королька, занесённого в Красную книгу Краснодарского края, представляют интерес для уточнения его современного природоохранного статуса, а также оценки взаимоотношений с близким видом – желтоголовым корольком.

Ключевые слова: красноголовый корольк, горные леса, ареал, Западный Кавказ.

ВВЕДЕНИЕ

Ареал красноголового королька включает Северо-Западную Африку, Европу, к югу до побережья Средиземного моря, Балканский полуостров, Крым, Малую Азию, западную часть Большого Кавказа (Степанян, 2003). Распространение его на Кавказе связано с горнолесными поясами южного макросклона Главного кавказского хребта, где встречается эндемичный подвид красноголового королька (*Regulus ignicapillus caucasicus*) (Степанян, 1998), населяющий низкогорные влажные лиственные леса с присутствием вечнозелёных древесных пород, а также хвойные лесные массивы. Стенобионтный характер использования местообитаний определяет его относительно узкий гнездовой ареал, который в западной части приобретает пятнистый облик и распадается на отдельные изолированные участки. Особенности его распространения выявлены ещё недостаточно полно. Требуют уточнения особенности географического и вертикального размещения птиц, использования ими различных лесных формаций в регионе. Вместе с тем, красноголовый корольк, как уязвимый, малочисленный вид, внесён в Красную книгу Краснодарского края (Тильба, 2017).

Цель работы – изучить особенности распространения и характер пребывания красноголового королька (*Regulus ignicapillus*) на Западном Кавказе.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в западной части Большого Кавказа в низкогорных и среднегорных лесах Краснодарского края. Они осуществлялись на территории Кавказского

заповедника (с 1976 г.), а после создания в 1983 году Сочинского национального парка, также в его пределах, вплоть до настоящего времени. Кроме того, изолированные сосновые насаждения были специально обследованы в весеннее время 1996 года в районе посёлка Лазаревское, а также в конце лета 1988 года в окрестностях посёлка Архипо-Осиповка и возле города Геленджик. В 2019 и 2021 годах осмотрены пихтарники северо-западной оконечности Главного кавказского хребта в окрестностях посёлка Джубга. Присутствие и обилие красноголовых королей выявляли во время весенне-летних маршрутных учётов птиц на постоянных трансектах с использованием фиксированной полосы обнаружения видов (Романов, Мальцев, 2005). С 2010 по 2022 годы ежегодные учёты велись на маршруте длиной 7 км в Хостинской тисосамшитовой роще на высоте 200 м н. у. м. В 2016–2019 годах они осуществлялись на отрезке 4 км на северном склоне хребта Аибга на высоте 1257–1385 м н. у. м. Вне проведения количественных учётов для поиска красноголовых королей использовали звуковые аттрактанты. Аудио записи красноголовых королей, при которых удалось обнаружить птиц продекларированы на 35 точках. Положение точек регистраций особей определялось навигатором GMAP 60CSx.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Первоначально красноголового короля на Кавказе относили к пролётным, зимующим или к залётным видам (Вильконский, 1897; Сатунин, 1913; Степанян, 1965; Судилова, 1954). Позднее с накоплением дальнейших сведений о его регистрациях, в литературе высказывалось мнение об оседлости красноголового короля в западной части Большого Кавказа (Степанян, 1998), а также о гнездовании этого вида в Западном Закавказье, к северу до Аше (Портенко, 1960). Однако, последнее заключение сделано, видимо, на основе экземпляра красноголового короля, добытого в окрестностях Аше в зимнее время (Степанян, 1965). В дальнейшем выводки красноголовых королей находили у Сочи (Бёме, Степанян, 1974). Кроме того, они были обнаружены в горных пихтарниках окрестностей посёлка Красная Поляна на склонах хребта Аишхо неподалеку от кордона Кавказского заповедника «Пслух» на высоте 1300–1400 м н. у. м. Поведение птиц и физиологическое состояние добытых особей свидетельствовали о их гнездовании (Бёме, Степанян, 1974). В период регулярного обследования нами лесов колхидского типа в бассейне реки Хоста с присутствием вечнозелёных древесных пород в 1979–1992 годах красноголовые короли регистрировались регулярно в апреле, мае, июле и августе, что предположительно свидетельствовало о их гнездовании (Тильба, 1996). В 1986 году гнездование красноголового короля установлено в Абхазии, в полосе предгорий в окрестностях Сухуми. Гнездо этого вида было найдено там 14 апреля в зоне городских насаждений (Маландзия, 1986). На вероятное его гнездование указывалось также в парковой зоне Пицунды и на Гудаутской равнине, где птиц отмечали в летнее время (Белик, 2015).

При нашем дальнейшем более интенсивном поиске красноголовых королей в лесах бассейна реки Хоста, также удалось подтвердить его размножение. Гнездо красноголового короля с птенцами обнаружено 27.05.2003 года в Хостинской тисо – самшитовой роще в низкогорных широколиственных лесах с присутствием самшита колхидского (*Buxus colchica*) на высоте 200 м н. у. м. (Тильба, 2007), а 05.06.2010 года в этом же районе отмечен выводок из трёх молодых птиц, которых кормили взрослые. Кроме того, ещё одно гнездо красноголового короля найдено там же 01.06.2010 года (Перевозов, 2014). В период гнездования этот вид регистрировался также в парковых насаждениях города Сочи с участием хвойных древесных пород 01.06.2018 года в парке Дендрарий. Кроме того, красноголового короля отмечали в конце мая – июне северо-западнее – в лиственных лесах низовий реки Шахе (Перевозов, 2010).

Плотность населения этого вида в конце мая – начале июня в причерноморских низкогорных лесах колхидского типа колеблется в пределах 2,5–42,5 особей на км² (табл. 1).

Её наиболее низкие показатели в 2012–2015 годах совпали с деградацией и полным выпадением из лесообразователей самшита колхидского в связи с инвазией в Причерноморье

Таблица 1

Плотность населения красноголового королька в низкогорных причерноморских лесах с присутствием самшита колхидского (Хостинская тисо – самшитовая роща)

	Годы												
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Особей на км ²	20	–	7,5	12,5	7,5	2,5	10,5	12,5	17,5	25	10	42,5	32,5

фитофага самшитовой огнёвки (*Cydalima perspectalis*), что привело к массовой гибели самшитовых лесов в 2014–2015 годах (Ширяева, 2015) и существенной перестройке в населении гнездящихся птиц (Тильба, 2021).

22.06.2019 и 15.07.2021 присутствие красноголовых корольков обнаружено также на удалении 150 км от известного гнездового ареала этого вида в Краснодарском крае на Шабановском перевале (Туапсинский район, окрестности села Горское) в Джубгском лесничестве Дефановского участкового лесничества бассейна реки Синявка с координатами 44° 30' 15,1'' с. ш. и 38° 45' 54,6'' в. д. (рис. 1).

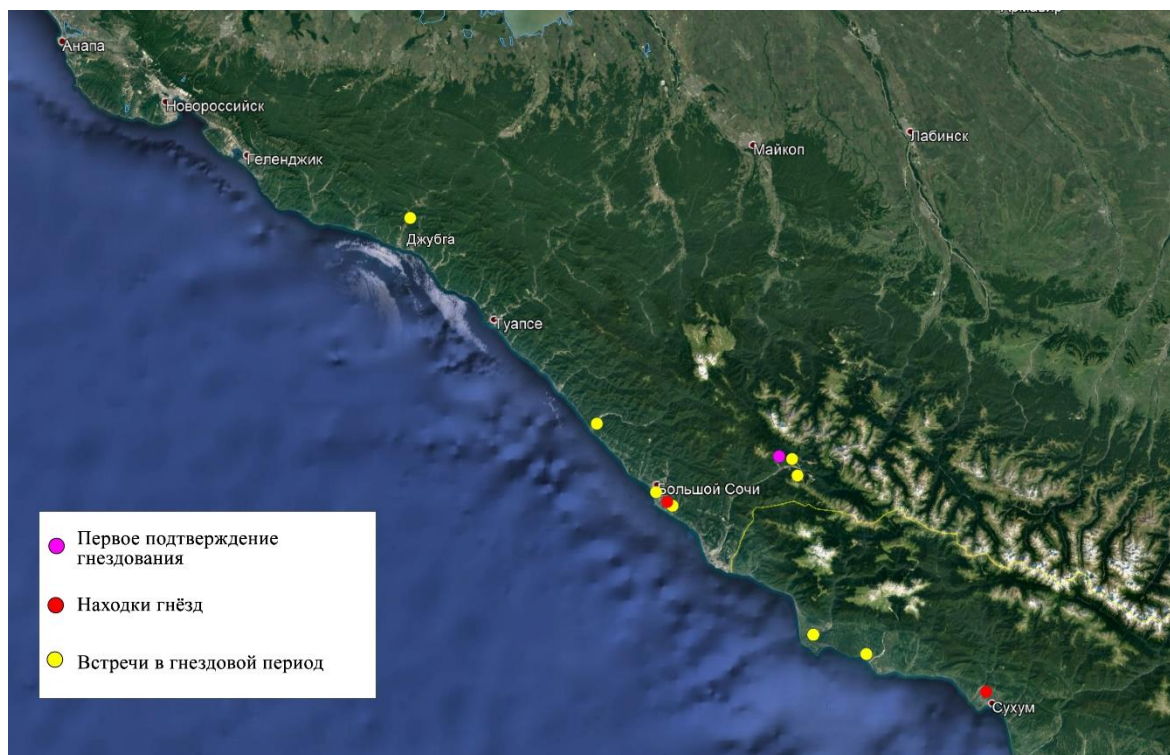


Рис. 1. Размещение находок гнёзд и встречи красноголовых корольков в гнездовой период в южной части Кавказа

Во время обследования там лесных массивов на гребне Главного кавказского хребта молодых и взрослых птиц удалось привлечь на аудиозапись на высотах 290–300 м н. у. м. Местообитания красноголовых корольков в этом районе представляют собой свежий дубово-буковый пихтарник на склонах западных и северо-западных экспозиций с крутизной до 20–30° (рис. 2 а, б). Пространственная структура насаждения характерна для коренного пихтового древостоя (Скрипник 2017). Обследованные лесные массивы не являются в этом районе однотипными. Чистые дубняки чередуются с дубово-пихтовыми участками, где пихта

занимает от 20 до 70 долей в насаждениях, или встречаются только отдельные её деревья. Численность красноголовых королек в этом районе была не высокой. В 2019 году из 9 аудио трансляций голоса птиц, привлечь их удалось только в трёх случаях (33,3 %), а в 2020 году – из 11 трансляций – только дважды (18,2 %). Есть также сведения о том, что красноголовые корольки могут проникать в летнее время и на северный макросклон Главного кавказского хребта, где они отмечались один раз в бассейне р. Малой Лабы (Белик, 2023).



Рис. 2. Местообитание красноголового короляка на изолированном участке ареала в понижении Главного кавказского хребта на высоте 300 м н. у. м. в окрестностях посёлка Джубга (а) и взрослая птица на сухой ветке пихты (15.07.2020 г.) (b)

В среднегорных пихтарниках южного макросклона Главного кавказского хребта красноголовые корольки регистрировались нами в период гнездования 18–21.05.2015 года на северных отрогах хребта Аибга с координатами 40° 37' 38,3'' с. ш. и 40° 20' 48,7'' в. д. на высоте 1257–1385 м н. у. м., где проходила нижняя граница распространения хвойных лесов. При этом неоднократно отмечались токующие самцы, и пары птиц. Встречаемость их оказалась относительно высокой, на 19 аудио трансляций голоса птиц привлечь удалось в 8 случаях (42,1 %). На другом участке нижнего края хвойных лесов неподалёку от кордона Кавказского заповедника «Пслух» с координатами 40° 37' 38,3'' с. ш. и 40° 20' 48,7'' в. д. на высоте 1257–1385 м н. у. м., где проводились маршрутные учёты численности лесных птиц, красноголовые корольки отмечались регулярно, а их плотность населения варьировала в различные годы в пределах 7,5–47,5 особей на км² (табл. 2).

Таблица 2

Плотность населения красноголового короляка в среднегорных пихтарниках (начало июня) в нижней зоне распространения хвойных лесов. Северный склон хребта Аибга

	Годы			
	2016	2017	2018	2019
Особей на км ²	7,5	15	22,5	47,5

Вертикальное распространение красноголового короляка в горных районах по оценке BirdLife International, 2021, простирается до 1000 м н. у. м. Однако, в некоторых странах, в частности в Болгарии этот вид населяет хвойные и смешанные леса от 1200 до 2100 м н. у. м. (Нанкинов, 2011). В различных регионах Турции он встречается в пределах высот от 1000 до 2300 м (Roselaar, 1995). В Каталонии и Швеции наиболее высокая плотность населения красноголового короляка отмечается от 600 до 1400 м н. у. м. (Wilk, Кнаус, 2020).

На южном макросклоне Западного Кавказа ареал этого вида образует вертикальную дизъюнкцию. В низкогорных причерноморских лиственных лесах колхидского типа красноголовый корольк в гнездовой период населяет лесные массивы с присутствием вечнозелёных древесных пород, образованных самшитом колхидским, тисом ягодным (*Taxus*

baccata), лавровишней лекарственной (*Prúnus laurocérusus*) до высот 300–400 м. н. у. м. Выше, там, где распространены осветлённые лесные формации образованные дубравами, каштанниками, букняками для птиц подходящие гнездовые местообитания отсутствуют. Красноголовые королики, исходя из наших многолетних наблюдений, в них не встречаются. Они появляются только в зоне нижнего края полосы тёмнохвойных лесов с 1100–1200 м н. у. м., в пихтарниках. Но распространены в них ограниченно, не выше 1500 м н. у. м. (табл. 3).

Таблица 3

Распределение встреч красноголовых корольков на разных высотах н. у. м. в среднегорных лесах южного макросклона Главного кавказского хребта бассейна реки Мзымты (2015–2019 годы) в период гнездования

Дата	Местообитание	Высота н. у. м.	Количество точек наблюдений	Результаты наблюдений	
				Число встреч	Доля встреч от общего числа, %
25.05.2017	Буково-пихтовый лес	1100– 1200	7	3	8,3
11.06.2016	Буково-пихтовый лес	1100– 1200	4	1	2,8
03.06.2019	Буково-пихтовый лес	1120– 1150	5	15	41,7
20.06.2018	Буково-пихтовый лес	1140– 1170	6	5	13,9
04.06.2019	Прирусловый лиственный лес с куртинами пихты	1230– 1570	3	–	–
19–24.05.2015	Буково-пихтовый лес	1250– 1385	19	8	22,5
11.06.2018	Буково-пихтовый лес	1257– 1385	6	3	8,3
10.06.2018	Пихтово-буковый лес	1501	3	1	2,8
20.05.2015	Пихтово-буковый лес	1502	1	–	–
04.06.2019	Пихтово-буковый лес	1650	1	–	–
04.06.2019	Пихтово-буковый лес	1790– 1920	4	–	–
	Всего:		59	36	100

Не исключено, что в этом случае проявляется викариат красноголового королика с желтоголовым королём (*Regulus regulus*), населяющим тёмнохвойные леса вплоть до верхнего предела их произрастания (рис. 3).

На большей части ареала красноголовый королёк является оседлым видом, смещаясь зимой из более северных его частей южнее и западнее, в целом оставаясь в пределах общего распространения (Тильба, 2020). Его оседлость предполагается в Крыму (Кинда, и др., 2003), указывается сейчас для Кавказа (Калякин, 2013). В западной Европе бывает хорошо выражен пролёт красноголового королика, а также известны его широкие после гнездовые кочёвки (Нанкинов, 2001). Предполагается наличие кочёвок этого вида вдоль северного и восточного Причерноморья (Смогоржевский, 2017).

На Западном Кавказе вне сезона размножения красноголовый королёк регистрировался в причерноморских лесах в районе посёлка Хоста (Кудашев, 1917), на участке Сочи-Хоста, а также в окрестностях Аше (Степанян, 1965), в районе Адлера (Schubert, 1986), у посёлка Лазаревское (Бёме, Степанян, 1974). Кроме того, его пребывание отмечалось в западной части

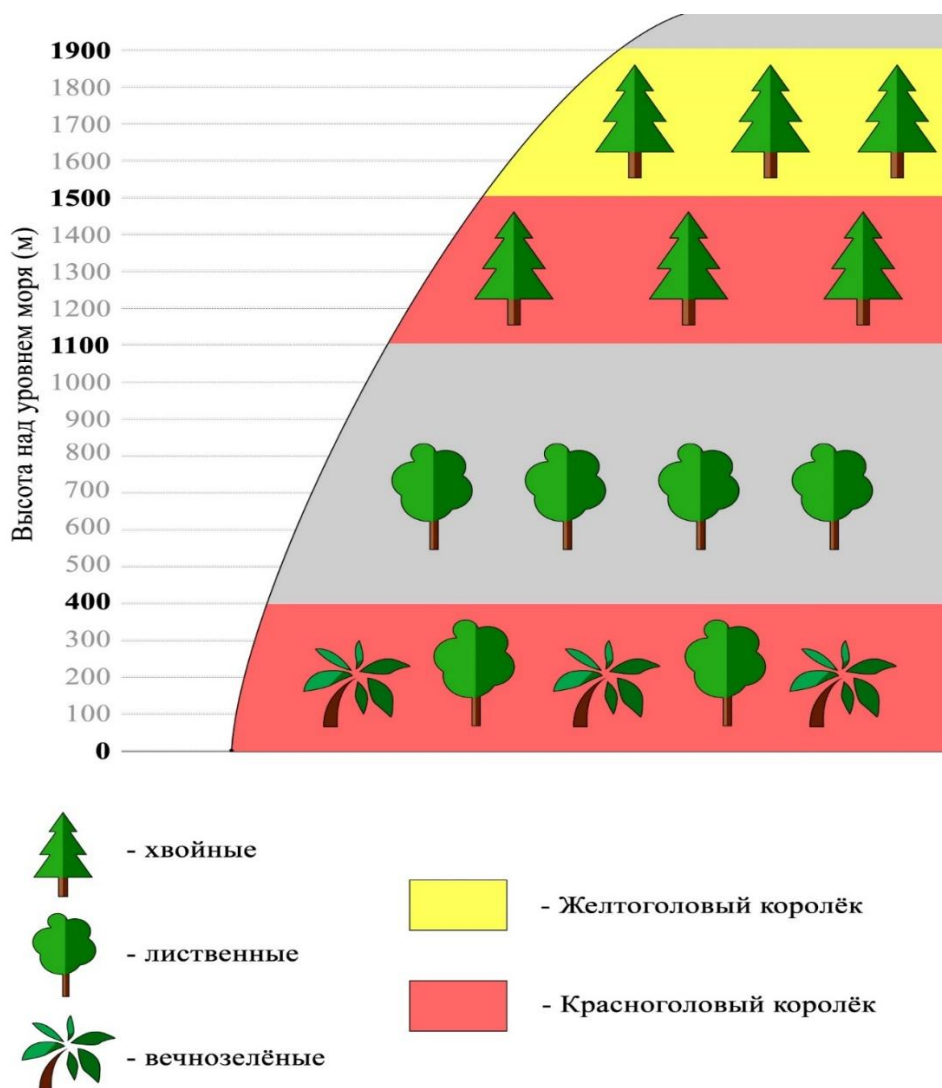


Рис. 3. Особенности вертикального распространения красноголового и желтоголового корольков в лесных поясах гор на южном макросклоне Главного кавказского хребта в пределах Западного Кавказа

Абхазии (Белик, 2015). Достаточно характерен этот вид в зимнее время в гнездовых местообитаниях, где его численность на южном макросклоне Главного кавказского хребта в низкогорных лиственных лесах с участием самшита колхидского в 1980-х годах по данным февральских учётов варьировала в пределах 7–21 особей на км² (Тильба, 2002). Регулярно встречается он в осенне-зимний период и ранней весной в осветлённых дубовых и дубово-грабовых лесах с присутствием на стволах деревьев вечнозелёных лиан, в частности плющей: обыкновенного (*Hedera hélix*) и колхидского (*Hedera colchica*) мест произрастания которых корольки отдают предпочтение. В такой обстановке красноголовые корольки неоднократно регистрировались в низовье реки Мзымты, в долинах рек Хероты, Кудепсты, Агуры, Хаджиписе, Псезуапсе, а также 16.01.21 года в Туапсинском районе у посёлка Сосновый.

Красноголовые корольки в зимнее время придерживаются также различных культурных насаждений в причерноморских городах и посёлках. Присутствие в них птиц также носит регулярный характер. В юго-восточной части российского Причерноморья красноголовые корольки регулярно регистрировались почти ежегодно с 1980-х годов до настоящего времени (табл. 4). Они встречаются среди уличных древесных насаждений, в парках, куртинах древесно-кустарниковой растительности на открытых участках, в садах.

Встречаемость красноголовых королек во время кочёвок и на зимовке в городском ландшафте кавказского Причерноморья

Дата	Населённый пункт и его окружение	Биотоп (обстоятельства нахождения)
Ноябрь – декабрь – январь – февраль – март 1985; 1987; 1988; 1989; 1990; 1997; 1998; 1999	Адлер	Уличные древесные насаждения
04.03. 2003	Адлерский аэропорт	Заросли ежевики и редкие ивовые насаждения у водоёма
08.01.2005	Адлер	Кипарисы на городских улицах
01.10.2010	Сочи	Кипарисы на городских улицах
Конец декабря 2019	Сочи	Парк Дендрарий (птица погибла от удара о шумозащитный дорожный экран)
Ноябрь – декабрь; март 1985; 2020; 2021; 2022	Адлер, Имеретинская низменность	Древесные насаждения, сады
28.01. 2021	Сочи	Уличные древесные насаждения
19.09. 2021	Сочи	Парк Дендрарий (птица погибла от удара о шумозащитный дорожный экран)
20.01. и 21.03.2022	Адлер	Парк Южные культуры
23.02.2023	Адлер	Заросли ольхи у пешеходной дорожки

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, красноголовый корольк в пределах Кавказского региона распространён вплоть до последних поднятий Главного кавказского хребта в западной его части, где может образовывать изолированные очаги обитания в естественной среде на высотах 200–300 м н. у. м. Целостный гнездовой ареал этого вида в настоящее время установлен на южной стороне Кавказа в бассейнах рек Хоста, Мзымта. Его местообитания приурочены там к низкогорным причерноморским лесам колхидского типа с присутствием вечнозелёных древесно-кустарниковых пород и лиан в пределах высот 300–400 м н. у. м. Выше наблюдается прерывистое распространение красноголового королька. Далее птицы населяют нижний край хвойных лесов с 1100–1200, но не выше 1500 м н. у. м. Красноголовые корольки отсутствуют в верхней части тёмнохвойных лесов, в интервалах высот 1500–1600–1920 м н. у. м., где проявляется их замещение желтоголовым корольком. Вне периода размножения в осенне-зимний период и ранней весной хорошо выражены их кочёвки, преимущественно в низкогорных широколиственных лесах и в культурных насаждениях населённых пунктов. В причерноморских колхидских лесах на местах гнездования птицы регистрируются круглогодично.

Список литературы

- Белик В. П. К орнитофауне Пицундо-Мюссерского заповедника и его окрестностей // Орнитология. – 2015. – Вып. 39. – С. 5–47.
- Белик В. П. Птицы южной России. Том 2: Воробьиные – Passeriformes. – Таганрог Издательство Южного федерального университета, 2023. – 618 с.
- Бёме Р. Л., Степанян Е. Н. К биологии и распространению красноголового королька на Кавказе // Орнитология. – 1974. – Вып. 11. – С. 361–362.

Вильконский Ф. В. Материалы к познанию фауны и флоры Российской империи // Императорское Московское об-во испытателей природы. Отдел зоологический. – 1897. – Вып. 3. – С. 1–121.

Калжик М. В. Красноголовый корольк. Полный определитель птиц европейской части России. Часть 3. – М.: ООО «Фитон – XXI», 2013. – С. 171–172.

Кинда В. В., Бескаравайный М. М., Дядичева Е. А., Костин С. Ю., Попенко В. Н. Ревизия редких, малоизученных и залётных воробьинообразных (Passeriformes) птиц в Крыму // Бранта. – 2003. – Вып. 6. – С. 25–54.

Кудашев А. Е. Предварительный список птиц, наблюдавшихся мною в Сочинском округе Черноморской губернии // Орнитологический вестник. – СПб., 1917. – № 1. – С. 20–36.

Малавдзия В. И. Гнездование красноголового короляка в Абхазии // Вестник зоологии. – 1986. – № 3. – С. 87.

Нанкинов Д. Н. Желтоголовый и красноголовый короляки в Болгарии // Русский орнитологический журнал. – 2011. – Т. 20, экспресс-выпуск 644. – С. 623–638.

Перевозов А. Г. Гнездовая орнитофауна бассейна р. Шахе (Западный Кавказ) // Животный мир горных территорий. – М., 2009. – С. 401–405.

Перевозов А. Г. Орнитофауна Кавказского заповедника и сопредельных территорий // Труды Кавказского биосферного заповедника. 90 лет Кавказскому заповеднику. – 2014. – Вып. 21. – С. 109–171.

Портенко Л. А. Птицы СССР. Часть IV. Отряд Passeriformes – Воробьиные (окончание). – М.–Л.: Изд-во АН СССР. – 1960. – 315 с.

Романов В. В., Мальцев И. В. Методы исследований экологии наземных позвоночных животных: Количественные учёт. – Владимир. Издательство Владимирского государственного университета. – 2005. – 79 с.

Сагунин К. А. Фауна Черноморского побережья Кавказа. Позвоночные // Труды общества для изучения Черноморского побережья. – СПб., 1913. – Т. 2, вып. 1. – С. 1–190.

Скрипник И. А. Тёмнохвойные леса Северо-Западного Кавказа на западном пределе их ареала // Биологическое разнообразие Кавказа и юга России: Материалы XIX Международной научной конференции с элементами научной школы молодых учёных. (Махачкала, 4–7 ноября 2017 г.). Т. 1. – Махачкала, 2017. – С. 271–273.

Степанян Л. С. Вопрос о пребывании красноголового короляка *Regulus ignicapillus* (Temm.) на Кавказе // Орнитология. – 1965. – Вып. 7. – С. 489–491.

Степанян Л. С. *Regulus ignicapillus caucasicus* Stepanyan, subsp. n. (Regulidae, Aves) из Западного Кавказа // Зоологический журнал. – 1998. – Т. 77, № 9. – С. 1077–1079.

Степанян Л. С. Конспект орнитологической фауны России и сопредельных территорий (в границах СССР как исторической области). – М.: «Академкнига», – 2003. – 808 с.

Смогоржевский Л. А. К распространению и кочёвкам красноголового короляка *Regulus ignicapillus* // Русский орнитологический журнал. – 2017. – Т. 26, экспресс-выпуск 1486. – С. 3425–3426.

Судиловская А. М. Семейство Короляки // Птицы Советского Союза. – Т. 6. – М.: Советская наука, 1954. – С. 126–141.

Тильба П. А. Красноголовый корольк на Западном Кавказе // Кавказский орнитологический вестник. – 1996. – Вып. 8. – С. 146–148.

Тильба П. А. Зимнее население и особенности размещения птиц в лесных поясах гор центральной части Западного Кавказа // Биоразнообразие и мониторинг природных экосистем в Кавказском государственном природном биосферном заповеднике. – Сборник трудов Кавказского государственного природного биосферного заповедника. – 2002. – Вып. 16. – С. 130–140.

Тильба П. А. Красноголовый корольк. – Красная книга Краснодарского края. Третье издание. Животные. – 2017. – С. 581–582.

Тильба П. А. Красноголовый корольк // Атлас гнездящихся птиц европейской части России. М.: ООО «Фитон – XXI», 2020. – С. 627–628.

Тильба П. А. Изменения в структуре гнездового населения птиц низкогорных лесов Черноморского побережья Кавказа после выпадения из состава лесообразователей самшита колхидского // Устойчивое развитие особо охраняемых природных территорий. Сборник статей VIII Всероссийской научно-практической конференции (Сочи, 7–9 октября 2021 г.). Т. 8. – Сочи, 2021. – С. 355–365.

Ширяева Н. В. Самшит колхидский в Сочинском национальном парке: угроза существования, история проблемы и попытки её решения // Устойчивое развитие особо охраняемых природных территорий. Сборник статей II Всероссийской научно-практической конференции (Сочи, 2–4 декабря 2015 г.). Т. 2. – Сочи, 2015. – С. 349–357.

BirdLife International. *Regulus ignicapillus* (assessment in Europe). IUCN Red List of Endangered Species 2021. e.T22735002A166445678. [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021-3.RLTS.T22735002A166445678.en>. (просмотрено 20.07.2023).

Roselaar C. S. Songbirds of Turkey an atlas of biodiversity of Turkish passerine birds / Zoologisch Museum, Universiteit van Amsterdam. – 1995. – 240 p.

Schubert P. Einige bemerkenswerte Beobachtungen an der kaukasischen Schwarzmeerküste bei Sotschi // Beitrag zur Vogelkunde. – 1986. – Band 32, Heft 3. – S. 186–187.

Wilk T., Knaus P. Common Firecrest *Regulus ignicapilla* // European Breeding Bird Atlas 2. Distribution Abundance and Change. – EBCC, 2020. – P. 772–773.

Tilba P. A. Distribution and presence patterns of the common firecrest (*Regulus ignicapillus*) in the Western Caucasus // Ekosistemy. 2023. Iss. 36. P. 162–170.

The study gives the results of research of the distribution and presence patterns of the common firecrest (*Regulus ignicapillus*) in the Western Caucasus. This species inhabits the southern slopes of the Main Caucasus Range. Its nesting was originally documented in Abkhazia in 1986. Subsequent findings of nests in 2003 and 2010 confirmed the presence of the common firecrest in the Western Caucasus. The research revealed that the species inhabited coniferous forests and lowland moist deciduous forests with evergreen tree species. It can also penetrate green areas of human settlements. In some years, maximum population density of the species was registered as 42.5 individuals per km² in lowland deciduous forests. In coniferous forests the population density reached up to 47.5 individuals per km². The distribution of *Regulus ignicapillus* was found up to the last rises of the Greater Caucasus Mountains in the northernmost part of the region. It was traced up to the village of Dzhubga, where an isolated part of its range is located at an altitude of 200–300 metres. The common firecrest was found nesting only in the lower part of the mid-mountain coniferous forests (up to 1500 m above sea level), while at higher elevations, it was replaced by another species, the goldcrest (*Regulus regulus*). Outside the breeding season, in autumn, winter, and early spring, significant movements of common firecrests were observed, primarily in lowland broad-leaved forests and in cultivated green areas of human settlements. In the Colchis forests of the Black Sea coast, the presence of firecrests was registered throughout the year in nesting sites. The obtained information regarding the distribution and population size of the common firecrest, a species listed in the Red Book of the Krasnodar krai, is of interest for further clarification of its current conservation status and for the assessment of the interactions with the closely related species – the goldcrest.

Keywords: Common Firecrest, mountain forests, habitat, Western Caucasus.

Поступила в редакцию 04.08.23

Принята к печати 04.10.23

Ресурсы макрофитов памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Фиолент»

Миронова Н. В., Панкеева Т. В.

Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН
Севастополь, Россия
dr.nataliya.mironova@yandex.ru, tatyapankeeva@yandex.ru

На основе проведённых исследований в акватории памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Фиолент» дана оценка ресурсов донной растительности, показано распространение макрофитобентоса и, входящих в его состав, доминирующих видов водорослей по глубинам и участкам. Выявлено, что вдоль всего побережья памятника природы на распределение запаса фитомассы макрофитов, *Ericaria crinita*, *Gongolaria barbata* и *Phyllophora crispa* оказывают влияние глубина и литологический состав донных отложений. Установлено, что на глубине 0,5–1 м запас фитомассы макрофитов и *Ericaria crinita*, *Gongolaria barbata* на участках, где преобладают глыбы, являющиеся благоприятным субстратом для прикрепления слоевищ макроводорослей, выше, чем эти показатели на участках, где обильно встречаются подвижные окатанные валуны. На всех участках их ресурсная составляющая наиболее высока на глубине 1–5 м, тогда как наибольшие скопления *Phyllophora crispa* зафиксированы на глубине 5–10 м. Доля «цистозирь» в запасах макрофитов при увеличении глубины от 0,5 до 10 м снижается от 79 до 64 %, а вклад филлофоры в диапазоне глубин 0,5–15 м колеблется от 0 до 7 % общих запасов макрофитов. По расчётным данным в памятнике природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Фиолент» общие запасы макрофитов оцениваются в 3716,0 т, из которых 2522,6 т приходится на *Ericaria crinita* и *Gongolaria barbata* и 87,6 т – на *Phyllophora crispa*, что составляет 68 и 2 % соответственно. В среднем, на 1 га исследуемого побережья сосредоточено 38,7 т макрофитов, в том числе, 26,3 т «цистозирь» и 0,9 т филлофоры. Анализ полученных материалов показал, что акватория памятника природы характеризуется высокими продукционными показателями макрофитов и значительными запасами *Ericaria crinita* и *Gongolaria barbata*. Таким образом, изучаемая охраняемая акватория играет важную роль в сохранении и охране растительного покрова в прибрежной зоне юго-западной части Гераклейского полуострова, являясь своеобразным резерватом ерикариево-гонголариевого («цистозирового») сообщества.

Ключевые слова: макрофитобентос, особо охраняемые природные территории, ресурсы, *Ericaria crinita*, *Gongolaria barbata*, *Phyllophora crispa*, Чёрное море.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях негативной трансформации растительного покрова, происходящей в последние десятилетия в экосистеме Чёрного моря, изучение макрофитов, являющихся ключевыми компонентами прибрежной зоны, приобретает особую актуальность. Учитывая важнейшую средообразующую функцию макрофитобентоса, вопросам охраны, основанных на изучении его продукционных характеристик, необходимо уделять значительное внимание. Показательно, что существенную роль в сохранении сырьевых ресурсов гидробионтов, в том числе и донной растительности, играют морские охраняемые акватории (МОА).

За последние годы по объектам особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Севастополя накоплены материалы о видовом составе макрофитобентоса, структуре его популяций и фитоценозов (Pankeeva, Mironova, 2019; Особо охраняемые..., 2020; Евстигнеева, Танковская, 2021, 2023; Mironova, Pankeeva, 2021; Alexandrov, Milchakova, 2022; Евстигнеева и др., 2022). Тем не менее, памятники природы гидрологического профиля, требуют более детальных исследований, так как ресурсная составляющая растительной компоненты изучена недостаточно. В настоящее время в регионе Севастополя были оценены запасы макрофитов, «цистозирь» и филлофоры для памятников природы «Прибрежный аквальный комплекс (ПАК) у мыса Лукулл» и «ПАК у Херсонеса Таврического» (Миронова, Панкеева, 2023а, 2023б). Подобные сведения для памятника природы «ПАК у мыса Фиолент» отсутствуют.

Цель работы – оценить ресурсы макрофитов и доминирующих видов водорослей, показать распределение их запасов в пределах памятника природы «ПАК у мыса Фиолент».

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Памятник природы «ПАК у мыса Фиолент» расположен в юго-западной части Севастополя. Его общая площадь составляет 179,4 га, из которых площадь территории – 66,0 га, акватории – 113,4 га. Подводный склон приглубый, в прибрежной акватории встречаются крутые остроконечные скалы, небольшие островки и рифы (рис. 1). Для побережья характерна высокая динамичность процессов: абразионных, абразионно-гравитационных и абразионно-оползневых.

Гидрботанические исследования памятника природы «ПАК у мыса Фиолент» проводили в летний период 2021 года. Работы в акватории выполняли с применением лёгководолазного снаряжения и с использованием маломерных судов. Для изучения состава макрофитобентоса и оценки запасов донной растительности в границах памятника природы было заложено три трансекты, расположенных перпендикулярно к берегу (рис. 2). Координаты трансект определяли при помощи портативного GPS-приемника (*Oregon 650*) (табл. 1). Отбор проб проводили по общепринятой методике (Калугина-Гутник, 1969). На глубинах 0,5; 1; 3; 5; 10 и 15 м располагали по четыре учётные площадки размером 25×25 см, при этом дайвер визуально определял проективное покрытие дна макрофитами (ПП).

Водоросли помещали в мешки из мельничного газа и в сыром виде доставляли в лабораторию, где определяли их видовой состав. Идентификацию водорослей проводили по определителю (Зинова, 1967) с учётом последних номенклатурных изменений (Guiry and Guiry, 2023). В лабораторных условиях при обработке материала учитывали общую биомассу (сырую) макрофитов, биомассу литофитов и эпифитов, биомассу «цистоциры» (*Ericaria crinita* (Duby) Molinari & Guiry = *Cystoseira crinita* и *Gongolaria barbata* (Stackhouse) Kuntze = *Cystoseira barbata*) и филлофоры (*Phyllophora crispa* (Hudson) P. S. Dixon), которые являются видами-доминантами Чёрного моря. Ресурсы макроводорослей (кг, сырая масса) рассчитаны по методике, модифицированной для морских исследований $Q = B \times \text{ПП} \times S / 100$, где Q – запасы (кг), B – средняя биомасса водорослей (кг×м²) в зарослях, ПП – проективное покрытие дна макрофитами (%), S – площадь, занятая зарослями макрофитов (м²) (Блинова и др., 2005). Угол уклона дна не превышал 0,06°, поэтому при расчёте запасов макрофитов он не учитывался. Определение площади акватории осуществляли с помощью программы *QGIS*.

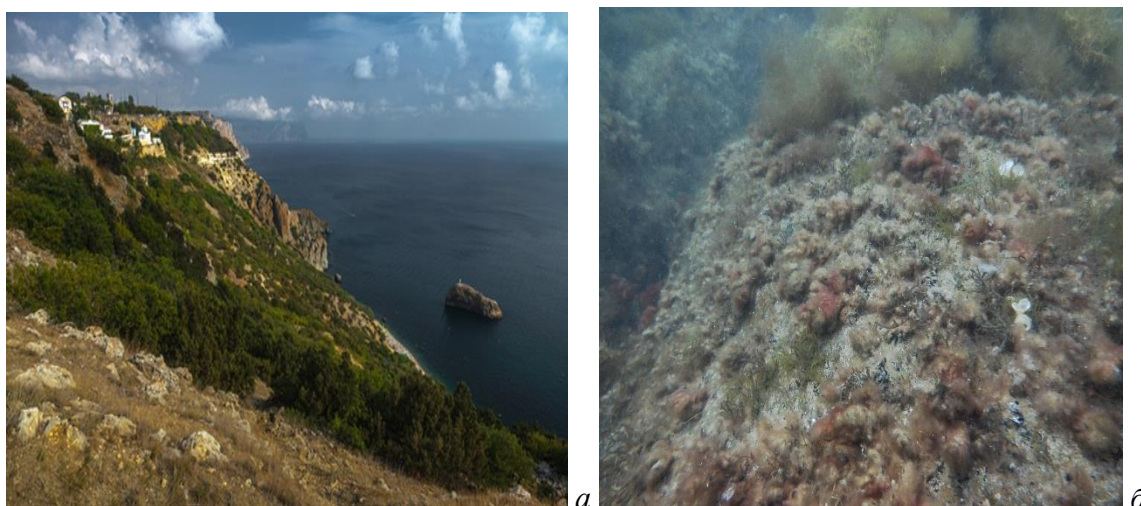


Рис. 1. Памятник природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Фиолент»
 а – береговая зона, б – морская акватория (фото Т. В. Панкеевой).

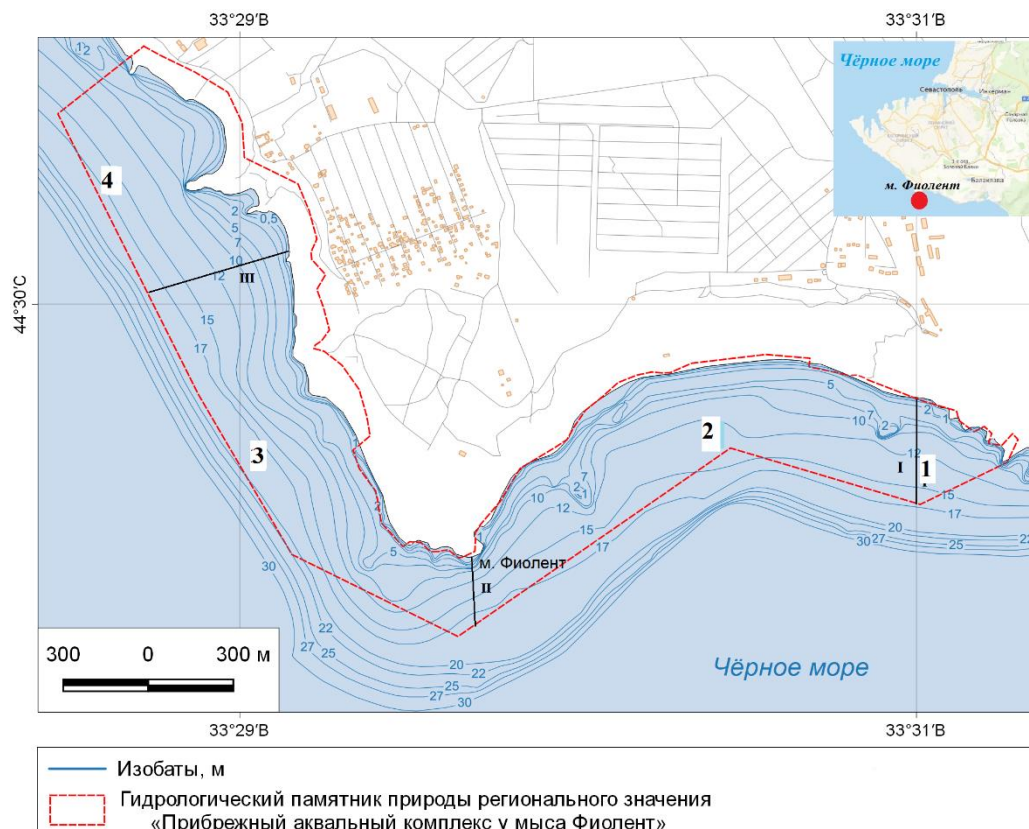


Рис. 2. Картограмма расположения гидробиотических трансект в акватории памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Фиолент»
1–4 – номера участков; I–III – номера трансект.

Таблица 1

Координаты, диапазон глубин и ширина фитали на трансектах памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Фиолент»

№ трансекты	Координаты		Диапазон глубин, м	Ширина фитали, м
	Северная широта	Восточная долгота		
I	44°30.244'	033°30.225'	0,5–10	150
II	44°29.875'	033°29.278'	0,5-10	80
III	44°30.461'	033°28.921'	0,5-15	450

Для того, чтобы получить сравнимые данные, общие запасы макрофитобентоса и, входящих в их состав, доминирующих видов водорослей были пересчитаны на единицу площади (га). Для этого был введён показатель запас фитомассы. Запас фитомассы определяется как отношение запасов макрофитов («цистозиры» и филлофоры) (Q) к площади участка, занятого донной растительностью (S). Таким образом, определяли запас фитомассы макрофитов, *Ericaria crinita*, *Gongolaria barbata* и *Phyllophora crispa*, который измеряется в т·га⁻¹ (Миронова, Панкеева, 2023а).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основе проведённой работы дана оценка ресурсов донной растительности и показано распределение макрофитов и, входящих в их состав, доминирующих видов водорослей по глубинам и участкам в акватории памятника природы «ПАК у мыса Фиолент». Характерно,

что в растительном покрове на всех исследованных глубинах и участках преобладают *Ericaria crinita* и *Gongolaria barbata*. Ширина фитали, где встречается макрофитобентос, колеблется от 80 до 450 м (табл. 1). Значения ПП в интервале глубин 0,5–1 м варьируют в широком диапазоне (10–80 %), на глубине 1–5(10) м – изменяются в пределах 20–70 %. В составе донной растительности на глубине 5–15 м, помимо видов «цистозир», отмечена *Phyllophora crispa*, при этом значения ПП на этой глубине не превышают 50 %.

Распределение запасов макрофитов по участкам в акватории памятника природы

Участок 1. Занимаемая донной растительностью площадь этого участка не превышает 3,3 га. Общие запасы макрофитов составляют 187,9 т, их величина изменяется по глубинам от 22,0 до 75,1 т, при этом наибольшее значение этого показателя отмечено на глубине 3–5 м, а наименьшее – на глубине 1–3 м. Показательно, что запас фитомассы макрофитов на глубине 0,5–1 и 5–10 м, а также в диапазоне глубин 1–3 и 3–5 м оказался соизмеримым (табл. 2).

Таблица 2

Изменение запасов, запаса фитомассы макрофитов и, входящих в их состав, доминирующих видов водорослей, их доли в общих запасах макрофитов по глубинам и участкам в акватории памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Фиолент» в летний период 2021 года

Глубина, м	Площадь, га	Запасы макрофитов, т	Запас фитомассы макрофитов, т·га ⁻¹	<i>Ericaria crinita</i> и <i>Gongolaria barbata</i>			<i>Phyllophora crispa</i>		
				Запасы, т	Доля в запасах, %	Запас фитомассы, т·га ⁻¹	Запасы, т	Доля в запасах, %	Запас фитомассы, т·га ⁻¹
Участок 1									
0,5–1	0,65	28,5	43,9	16,6	58	25,5	0	0	0
1–3	0,29	22,0	77,1	12,8	58	44,9	0	0	0
3–5	0,98	75,1	76,4	40,7	54	41,4	0,8	1	0,8
5–10	1,35	62,3	46,3	35,3	57	26,2	1,1	2	0,8
Участок 2									
0,5–1	3,34	172,1	51,5	143,8	78	40,3	0	0	0
1–3	2,53	154,0	60,9	100,5	65	39,7	0,1	0	0
3–5	7,54	421,6	55,9	248,9	59	33,0	3,8	1	0,5
5–10	10,70	343,5	32,1	192,6	56	18,0	20,7	6	1,9
Участок 3									
0,5–1	2,10	102,8	48,9	89,4	87	42,5	0	0	0
1–3	1,89	102,5	54,2	75,1	73	39,7	0,1	0	0
3–5	6,17	364,9	59,2	247,4	68	40,1	0,6	0	0,1
5–10	12,72	466,9	36,7	307,8	66	24,2	22,5	5	1,8
10–15	17,03	181,7	10,7	141,1	78	8,3	13,5	7	0,8
Участок 4									
0,5–1	2,66	103,0	38,6	79,3	77	29,8	0	0	0
1–3	1,86	118,3	63,6	83,4	70	44,8	0	0	0
3–5	3,84	318,4	82,9	213,4	67	55,5	0	0	0
5–10	7,17	398,3	55,6	276,9	69	38,6	3,5	1	0,5
10–15	13,13	280,1	21,3	217,6	78	16,6	20,9	7	1,6

Запасы *Ericaria crinita* и *Gongolaria barbata* определены в 105,4 т, их величина колеблется по глубинам от 12,8 до 40,7 т, с максимумом на глубине 3–5 м, минимумом – на глубине от 1 до 3 м. Доля «цистозир» в общих запасах макрофитов в интервале глубин 0,5–10 м слабо

варьирует в пределах 54–58 %. Наибольший запас фитомассы этих видов приурочен к глубине 1–3 м, а наименьший – к глубине 0,5–1 м (табл. 2). Характерно, что при увеличении глубины от 3–5 до 5–10 м величина этого показателя снижается почти вдвое (табл. 2).

Запасы *Phyllophora crispa* невелики – 1,9 т. Они сосредоточены, преимущественно, на глубине 3–10 м. Вклад филлофоры в запасах макрофитов на этих глубинах не превышает 1–2 %, а запас фитомассы этого вида в интервале глубин 3–10 м одинаковый (табл. 2).

Участок 2. Площадь участка около 24 га. Общие запасы макрофитов составляют 1091,2 т. Их максимальная величина отмечена на глубине 3–5 м, а минимальная – на глубине от 1 до 3 м, где она ниже почти втрое (табл. 2). Показательно, что на глубине 1–3 м зарегистрирован наибольший запас фитомассы макрофитов, а наименьший – на глубине от 5 до 10 м (табл. 2).

Запасы видов «цистозирь» достигают 685,8 т, их величина колеблется по глубинам от 100,5 до 248,9 т. Максимальная и минимальная величины этого показателя отмечены на глубине 3–5 и 1–5 м соответственно. Доля *Ericaria crinita* и *Gongolaria barbata* в запасах макрофитов при увеличении глубины снижается с 78 до 56 %, а запас их фитомассы уменьшается более чем вдвое (табл. 2).

Запасы *Phyllophora crispa* оценены в 24,6 т. Скопления этого вида приурочены, в основном, к глубине 5–10 м, где его доля в запасах макрофитов составляет 6%, тогда как на глубине 3–5 м – не превышает 1 %. Запас фитомассы филлофоры при увеличении глубины от 3 до 10 м возрастает почти вчетверо (табл. 2).

Участок 3. Площадь участка около 40 га. Общие запасы макрофитов достигают 1218,8 т. Их величина в диапазоне глубин 0,5–10 м возрастает более чем в 4 раза, тогда как при дальнейшем увеличении глубины от 10 до 15 м – снижается почти втрое (табл. 2). Характерно, что на глубине 0,5–1 и 1–3 м общие запасы макрофитов практически одинаковые (табл. 2). Максимальный и минимальный показатели запаса их фитомассы зарегистрированы на глубине 3–5 и 10–15 м соответственно (табл. 2).

Запасы *Ericaria crinita* и *Gongolaria barbata* определены в 860,8 т, их величина варьирует по глубинам от 75,1 до 307,8 т. Наибольшее и наименьшее значение этого показателя приходится на глубины 5–10 и 1–3 м соответственно. Доля «цистозирь» в запасах макрофитов при увеличении глубины в интервале 0,5–10 м снижается с 87 до 66 %, при этом на глубине 10–15 м вклад этих видов вновь возрастает (табл. 2). Максимальный запас их фитомассы отмечен на глубине 0,5–1 м, а минимальный – на глубине 10–15 м, где он в 5 раз ниже (табл. 2).

Запасы *Phyllophora crispa* составляют 36,7 т, её скопления обнаружены на глубине 5–15 м, тогда как до глубины 5 м этот вид встречается лишь изредка. Доля филлофоры в запасах макрофитов в диапазоне глубин 5–15 м колеблется в пределах 5–7 %. Наибольший запас её фитомассы приходится на глубину 5–10 м (табл. 2).

Участок 4. Площадь участка – 28,7 га. Общие запасы макрофитов оценены в 1218,1 т. Их величина колеблется по глубинам от 103,0 до 398,3 т. Показательно, что наибольшие запасы макрофитов сосредоточены на глубине 5–10 м, а наименьшие – на глубине 0,5–1 м (табл. 2). Максимальный запас их фитомассы зарегистрирован на глубине 3–5 м, минимальный – на глубине 10–15 м. Характерно, что при увеличении глубины от 0,5 до 5 м запас фитомассы макрофитов возрастает более, чем вдвое (табл. 2).

Запасы «цистозирь» составляют 870,6 т, их величина варьирует по глубинам от 79,3 (глубина 0,5–1 м) до 276,9 т (глубина 5–10 м). Доля *Ericaria crinita* и *Gongolaria barbata* в запасах макрофитов с повышением глубины в интервале 0,5–5 м снижается с 77 до 67%, а на глубине 5–15 м вновь увеличивается с 69 до 78%. Характерно, что на глубине 0,5–1 и 10–15 м их вклад в общие запасы макрофитов практически одинаков (табл. 2). Запас фитомассы «цистозирь» в направлении от верхней сублиторальной зоны к средней возрастает (0,5–5 м) почти вдвое (29,8 и 55,5 т·га⁻¹ соответственно), а в нижней сублиторали (10–15 м) не превышает 16,6 т·га⁻¹.

Запасы *Phyllophora crispa* составляют 24,4 т. Основные скопления этого вида приурочены к глубине 10–15 м, где на его долю приходится 7% общих запасов макрофитов. Запас фитомассы филлофоры при увеличении глубины в диапазоне 5–15 м повышается более чем втрое (табл. 2).

Таким образом, анализ полученного материала показал, что в акватории памятника природы «ПАК у мыса Фиолент» ресурсная составляющая макрофитов и, входящих в их состав, *Ericaria crinita*, *Gongolaria barbata*, *Phyllophora crispa* отличаются по исследуемым участкам, что, вероятно, объясняется различным гранулометрическим составом донных осадков, дифференциация которых обусловлена особенностями геолого-геоморфологического строения береговой зоны. Вдоль побережья на глубине 0,5–1 м, на участках 2 и 3, где преобладают глыбы, являющиеся благоприятным субстратом для прикрепления слоевищ «цистозир», запас фитомассы макрофитов и, входящих в их состав, доминирующих *Ericaria crinita*, *Gongolaria barbata* несколько выше (48,9–51,5 и 40,3–42,5 т·га⁻¹), чем на участках 1 и 4 (38,6–43,9 и 25,5–29,8 т·га⁻¹ соответственно), где обильно встречаются подвижные окатанные валуны (табл. 2).

Характерно, что на всех участках при увеличении глубины от 1 до 10 м на песчано-галечно-гравийных отложениях возрастает доля *Phyllophora crispa*. В связи с этим, отмечено постепенное снижение запаса фитомассы макрофитов и *Ericaria crinita*, *Gongolaria barbata*. Так, при увеличении глубины от 3–5 до 5–10 м эти показатели уменьшаются в 1,4–1,8 раза (табл. 2). Показательно, что на всех участках ресурсная составляющая макрофитов и *Ericaria crinita*, *Gongolaria barbata* наиболее высока на глубине 1–5 м (табл. 2). Самые густые заросли водорослей и, входящих в их состав, видов «цистозир» зарегистрированы на участке 4 на глубине 3–5 м, где запас их фитомассы достигает (82,9 и 55,5 т·га⁻¹ соответственно). Наибольшие скопления *Phyllophora crispa* зафиксированы на участке 3, а наименьшие – на участке 1 (табл. 2). Запас фитомассы этого вида на глубине 3–10 м по участкам изменяется от 0,1 до 1,9 т·га⁻¹.

Донная растительность на глубине 10–15 м зарегистрирована только на участках 3 и 4 (табл. 2). Ресурсный потенциал макрофитобентоса на этих глубинах относительно низкий, при этом запас фитомассы макрофитов, *Ericaria crinita*, *Gongolaria barbata* и *Phyllophora crispa* на участке 4 вдвое выше, чем на участке 3 (табл. 2).

Распределение запасов по глубинам в акватории памятника природы

Известно, что с увеличением глубины степень освещённости снижается, что приводит к батиметрическому изменению состава альгофлоры и уменьшению продукционного потенциала макрофитобентоса из-за снижения фотосинтезирующей деятельности светолюбивых видов. В целом, анализ распределения макрофитобентоса по глубинам показал, что в акватории памятника природы «ПАК у мыса Фиолент» общие запасы макрофитов достигают 3716,0 т. Их величина возрастает более чем втрое при увеличении глубины от 0,5 до 10 м, при дальнейшем повышении глубины – этот показатель снижается почти в 3 раза (табл. 3). В среднем, на 1 га произрастает 38,7 т макрофитов. Максимальный запас их фитомассы отмечен на глубине 3–5 м, а минимальный – на глубине 10–15 м, который ниже почти в 4 раза (табл. 3).

Запасы *Ericaria crinita* и *Gongolaria barbata* оцениваются в 2522,6 т. Характерно, что на глубине 3–10 м сосредоточено 62% их запасов, рассчитанных для акватории памятника природы (табл. 3). Наибольший запас фитомассы «цистозир» зарегистрирован на глубине 1–3 м (41,4 т·га⁻¹), тогда как на глубине 10–15 этот показатель не превышает 11,9 т·га⁻¹. В направлении от верхней к нижней сублиторальной зоне (глубины 0,5–10 м) вклад *Ericaria crinita* и *Gongolaria barbata* достаточно высокий, незначительно снижается с 79 до 64 %. На глубине 10–15 м доля этих видов вновь возрастает, что, вероятно, связано со сравнительно высокой прозрачностью воды в этом интервале глубин и наличием твёрдого субстрата (табл. 3). Согласно сведениям ряда авторов, изучаемая акватория относительно чистая, её очищение, аэрацию и приток биогенов с глубинных горизонтов обеспечивают сезонные, суточные перемещения водных масс и сгонно-нагонные явления (Ациховская, Субботин, 2000).

Запасы *Phyllophora crispa* не превышают 87,6 т. Массовые скопления этого вида обнаружены на глубине от 5 до 15 м, где зафиксировано 94 % его запасов, рассчитанных для

памятника природы (табл. 3). Вблизи нижней границы фитали при увеличении глубины от 5 до 15 м вклад филлофоры в структуру общих запасов макрофитов возрастает с 4 до 7 %. Сходным образом изменяется запас её фитомассы, который при повышении глубины от 3 до 10 м увеличивается в 5 раз (с 0,3 до 17,3 т·га⁻¹), тогда как на глубине 10–15 м этот показатель незначительно снижается (табл. 3).

Таблица 3

Запасы фитомассы макрофитов и входящих в их состав доминирующих видов водорослей в акватории памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Фиолент» в летний период 2021 года

Глубина, м	Площадь, га	Запасы макрофитов, т	Запас фитомассы макрофитов, т·га ⁻¹	<i>Ericaria crinita</i> и <i>Gongolaria barbata</i>			<i>Phyllophora crispa</i>		
				Запасы, т	Доля в запасах, %	Запас фитомассы, т·га ⁻¹	Запасы, т	Доля в запасах, %	Запас фитомассы, т·га ⁻¹
0,5–1	8,75	406,4	46,4	329,1	79	36,5	0	0	0
1–3	6,57	396,8	60,4	271,8	68	41,4	0,2	0	0
3–5	18,53	1180,0	63,7	750,4	64	40,5	5,2	0	0,3
5–10	31,94	1271,0	39,8	812,6	64	25,4	47,8	4	1,5
10–15	30,16	461,8	15,3	358,7	78	11,9	34,4	7	1,1

Таким образом, анализ полученных материалов показал, что акватория памятника природы «ПАК у мыса Фиолент» характеризуется высокими продукционными показателями макрофитобентоса, в составе которого наиболее весомый вклад вносят *Ericaria crinita* и *Gongolaria barbata*. Ранее в работе Н.А. Мильчаковой с соавторами (2019) в этом районе также была отмечена значительная доля этих видов в структуре сообщества (Мильчакова и др., 2019). Известно, что *Ericaria crinita* и *Gongolaria barbata* на крымском побережье имеют охраняемый статус и внесены в Красную книгу (КК) Республики Крым (РК) (Красная книга..., 2015) и КК Чёрного моря (1999). Характерно, что биотопы, где произрастают эти виды (А3.34), также имеют высокий международный охраняемый статус (BLSA3.34, EN) (Annex 1, European Red List of Habitat). Согласно расчётам, приведённым в статье Н. А. Мильчаковой с коллегами (2019), площадь биотопа, которую занимают «цистозирры» в районе «ПАК у мыса Фиолент», достигает 65,8 га (Мильчакова и др., 2019), что составляет соответственно около 70 % обследованной нами акватории.

Phyllophora crispa внесена в КК Российской Федерации (Красная книга..., 2008), КК РК (Красная книга..., 2015) и КК Севастополя (Красная книга..., 2018). В современных условиях в Чёрном море отмечается ухудшение состояния глубоководной растительности, которое, в основном, связано со снижением прозрачности воды, вследствие увеличения степени эвтрофирования водной среды (Мильчакова и др., 2019; Pankeeva, Mironova, 2019; Mironova, Pankeeva, 2021). В результате этого, зона активного фотосинтеза оказалась ближе к берегу, что вызвало подъём нижней границы произрастания многих водорослей, в том числе и филлофоры. Местообитание *Phyllophora crispa* (A5.xu), согласно Европейского списка, относится к категории – недостаточно данных (DD). Однако, выраженные негативные изменения и деградация макрофитобентоса в нижней сублиторальной зоне предполагают присвоение этому биотопу также высокого статуса охраны, поскольку охраняемые морские местообитания могут рассматриваться как природные эталоны, в пределах которых сохраняется весь биоценотический комплекс с характерной таксономической структурой (Galdenzi et al., 2012; Rodríguez et al., 2012; Izco, 2015; Keith et al., 2015).

Характерно, что исследуемая акватория памятника природы, в целом, отличается высокой степенью сохранности всего разнообразия донной растительности. Это подтверждается в статье И. К. Евстигнеевой и И. Н. Танковской (2023), которые указывают, что в настоящее время в этом районе в составе макрофитобентоса обнаружено 52 вида, из них Chlorophyta (10), Ochrophyta (12) и Rhodophyta (30), при этом 13 видов имеют природоохранный статус (Евстигнеева, Танковская, 2023).

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что изучаемая охраняемая акватория «ПАК у мыса Фиолент» играет важную роль в сохранении и охране растительного покрова в прибрежной зоне юго-западной части Гераклеийского полуострова, являясь своеобразным резерватом эрикариево-гонголариевого («цистозирового») и филлофорового сообществ.

ВЫВОДЫ

1. На основе проведённых исследований в акватории памятника природы «ПАК у мыса Фиолент» дана оценка ресурсов донной растительности, показано распространение макрофитов и, входящих в их состав, доминирующих видов водорослей по глубинам и участкам. Выявлено, что вдоль всего побережья изучаемого памятника природы на распределение запаса фитомассы макрофитов, *Ericaria crinita*, *Gongolaria barbata* и *Phyllophora crispa* оказывают влияние глубина и литологический состав донных отложений.

2. Установлено, что на глубине 0,5–1 м запас фитомассы макрофитов и *Ericaria crinita*, *Gongolaria barbata* на участках 2 и 3 выше (48,9–51,5 и 40,3–42,5 т·га⁻¹ соответственно), чем эти показатели на участках 1 и 4 (38,6–43,9 и 25,5–29,8 т·га⁻¹ соответственно), что связано с составом и структурой донного субстрата.

3. Ресурсная составляющая макрофитов и *Ericaria crinita*, *Gongolaria barbata* на всех участках наиболее высока на глубине 1–5 м, при увеличении глубины с 5 до 10 м эти показатели снижаются, при этом максимальные величины отмечены на участке 4, а минимальные – на участке 2. Наибольшие скопления *Phyllophora crispa* зафиксированы на участке 3, а наименьшие – на участке 1. Запас фитомассы этого вида на глубине 3–10 м по участкам изменяется от 0,1 до 1,9 т·га⁻¹.

4. Сравнительный анализ распределения донной растительности в прибрежной зоне показал, что запас фитомассы макрофитов наиболее высок в верхней и средней сублиторальной зоне (0,5–5 м) и варьирует от 46,4 до 63,7 т·га⁻¹. В нижней сублиторальной зоне (5–15 м) показатель этой величины снижается и колеблется от 39,8 до 15,3 т·га⁻¹.

5. Запас фитомассы *Ericaria crinita* и *Gongolaria barbata* в верхней и средней сублиторальной зоне изменяется в узком интервале от 36,5 до 41,4 т·га⁻¹, а в нижней – уменьшается и варьирует от 25,5 до 11,9 т·га⁻¹. Доля «цистозир» в запасах макрофитов при увеличении глубины от 0,5 до 10 м снижается от 79 до 64 %.

6. Запас фитомассы *Phyllophora crispa* на глубине 3–15 м изменяется от 0,3 до 1,5 т·га⁻¹, при этом минимальное значение этого показателя отмечено на глубине 3–5 м, а максимальное – на глубине 5–10 м. Доля филлофоры в этом диапазоне глубин колеблется от 0 до 7 % общих запасов макрофитов.

7. По расчётным данным в прибрежной зоне «ПАК у мыса Фиолент», площадью около 96 га, общие запасы макрофитов оцениваются в 3716,0 т, из которых 2522,6 т приходится на *Ericaria crinita* и *Gongolaria barbata* и 87,6 т – на *Phyllophora crispa*, что составляет 68 и 2 % соответственно. В среднем, на 1 га исследуемого побережья сосредоточено 38,7 т макрофитов, в том числе, 26,3 т «цистозир» и 0,9 т филлофоры.

8. Анализ полученных материалов показал, что акватория памятника природы «ПАК у мыса Фиолент» характеризуется высокими продукционными показателями макрофитов и значительными запасами *Ericaria crinita* и *Gongolaria barbata*. Таким образом, изучаемая охраняемая акватория играет важную роль в сохранении и охране растительного покрова в прибрежной зоне юго-западной части Гераклеийского полуострова.

Благодарности. Авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам отдела биотехнологий и фиторесурсов канд. биол. наук, с.н.с. И. К. Евстигнеевой, м.н.с. И. Н. Танковской за совместную работу по сбору и обработке первичного материала, а также И. Ю. Тамойкину за отбор глубоководных альгологических проб.

Работа выполнена в рамках госзадания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса» (гос. рег. № 121030300149-0).

Список литературы

- Ациховская Ж. М., Субботин А. А. Динамика вод Балаклавской бухты и прилегающей акватории Чёрного моря // Экология моря. – 2000. – Вып. 50. – С. 5–8.
- Блинова Е. И., Пронина О. А., Штрик В. А. Методические рекомендации по учёту запасов промысловых морских водорослей прибрежной зоны // Изучение экосистем рыбохозяйственных водоемов, сбор и обработка данных о водных биологических ресурсах, техника и технология их добычи и переработки. – М.: Труды ВНИРО, 2005. – Вып. 3. – С. 80–127.
- Евстигнеева И. К., Танковская И. Н. Гидрботанические исследования охраняемой акватории западного Крыма (Чёрное море) // Фиторазнообразие Восточной Европы. – 2021. – Т. 15, № 4. – С. 16–33. doi.org/10.24412/2072-8816-2021-15-4-16-33
- Евстигнеева И. К., Танковская И. Н. Таксономический анализ макрофитобентоса акватории памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Фиолент» (Чёрное море) // Вестник Пермского ун-та. Серия Биология. – 2023. – Вып. 2. – С. 179–194.
- Евстигнеева И. К., Танковская И. Н., Евстигнеев В. П. Макрофитобентос памятника природы регионального значения «Прибрежный аквальный комплекс у Херсонеса Таврического» // Экосистемы. – 2022. – Вып. 30. – С. 22–37.
- Зинова А. Д. Определитель зелёных, бурых и красных водорослей южных морей СССР. – Л.: Наука, 1967. – 397 с.
- Калугина-Гутник А. А. Исследование донной растительности Чёрного моря с применением лёгководолазной техники // Морские подводные исследования. М.: Наука, 1969. – С. 105–113.
- Красная книга Республики Крым. Растения, водоросли и грибы / [Отв. ред. А. В. Ена, А. В. Фатерыга]. – Симферополь: ООО «ИТ «АРИАЛ», 2015 – 478 с.
- Красная книга Российской Федерации: (растения и грибы) [Отв. ред.: Л. В. Бардунов, В. С. Новиков] – Москва: Т-во науч. изд. КМК, 2008. – 885 с.
- Красная книга города Севастополя [Отв. ред.: И. В. Довгаль, В. В. Корженевский] – Калининград; Севастополь: РОСТ-ДОАФК, 2018. – 432 с.
- Мильчакова Н. А., Александров В. В., Рябогина В. Г. Состояние ключевых фитоценозов морских охраняемых акваторий и проблемы их сохранения (юго-западный Крым, Чёрное море) // Сборник ГНБС. – 2019. – Т. 149. – С. 113–123.
- Миронова Н. В., Панкеева Т. В. Распределение запасов макрофитов в акватории памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у Херсонеса Таврического» // Экосистемы. – 2023а. – № 33. – С. 88–96.
- Миронова Н. В., Панкеева Т. В. Запасы макрофитов в акватории памятника природы «ПАК у мыса Лукулл» // Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН. – 2023б. (в печати)
- Особо охраняемые природные территории Севастополя / Гл. упр. природ. ресурсов и экологии г. Севастополя. [Отв. ред.: Е. И. Голубева]. – Симферополь: Ариал, 2020. – 140 с.
- Alexandrov V. V., Milchakova N. A. 2022. Do protected areas influence populations of the threatened red alga *Phyllophora crispa* along the southwestern coast of Crimea (the Black Sea) // Nature Conservation Research. Заповедная наука. – 2022. – Т. 7, N 4. – С. 70–83. doi.org/10.24189/ncr.2022.037
- Black Sea Red Data Book / Ed. by H. J. Dumont. New York: UNOPS, 1999. – 413 p.
- Galdenzi D., Pesaresi S., Casavecchia S., Zivkovic L., Biondi E. The phytosociological and syndynamical mapping for the identification of High Nature Value Farmland // Plant Sociology. – 2012. – Vol. 49 (2). – P. 59–69. doi.org/10.7338/pls2012492/04
- Guiry M. D., Guiry G. M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. URL. – 2023. www.algaebase.org (date accessed: 21.08.2023).
- Izco J. Risk of extinction of plant communities: Risk and assessment categories // Plant Biosystems. – 2015. – Vol. 149, iss. 3. – P. 589–602. doi.org/10.1080/11263504.2014.1000998
- Keith D. A., Rodríguez J. P., Brooks T. M., Burgman M. A., Barrow E. G., Bland L., Comer P. J., Franklin J., Link J., McCarthy M. A., Miller R. M., Murray N. J., Nel J., Nicholson E., Oliveira-Miranda M. A., Regan T. J., Rodríguez-Clark K. M., Rouget M., Spalding M. D. The IUCN Red List of Ecosystems: Motivations, Challenges and Applications // Conservation Letters. – 2015. – N 8. – P. 214–226. doi.org/10.1111/conl.12167

Mironova N. V., Pankeeva T. V. Spatiotemporal Changes in the Macrophytobenthos in the Coastal Zone of Karanskii Nature and Landscape Reserve (Sevastopol, Black Sea) // *Biology Bulletin*. – 2021. – Vol. 48, N 10. – P. 1941–1949. doi. org/10.1134/S1062359021100320

Pankeeva T. V., Mironova N. V. Spatiotemporal Changes in the Macrophytobenthos of Laspi Bay (Crimea, Black Sea) // *Oceanology*. – 2019. – Vol. 59, iss. 1. – P. 86–98. doi. org/10.1134/S0001437019010168.

Rodríguez J. P., Rodríguez K. M., Keith D. A., Barrow E. G., Benson J., Nicholson E., Wit P. IUCN Red List of Ecosystems // *S. A. P. I. EN. S.* – 2012. – Vol. 5, N 2. – P. 61–70. //journals.openedition.org/sapiens/1286

Mironova N. V., Pankeeva T. V. Stocks of macrophyte in the natural monument «Coastal aquatic complex at cape Fiolent» // *Ekosistemy*. 2023. Iss. 36. P. 171–180.

As a result of the conducted research in the water area of the “Coastal aquatic complex at Cape Fiolent” natural monument the stocks of bottom vegetation were assessed, the distribution of macrophytobenthos and the dominant algae species included in them by depths and sections was analyzed. It was revealed that along the whole coastal area of the natural monument the distribution of phytomass of macrophytes, *Ericaria crinita*, *Gongolaria barbata* and *Phyllophora crispa* was influenced by the depth and lithological composition of bottom sediments. It was found that at the depth of 0.5–1 m, the phytomass of macrophytes, *Ericaria crinita*, *Gongolaria barbata* at the sites where boulders – a favorable substrate for attachment of macroalgae – prevail, was higher than these indicators at the sites where mobile fossilized boulders were abundant. At all sites, their resource component was highest at depths of 1–5 m, while the largest accumulations of *Phyllophora crispa* were recorded at depths of 5–10 m. The contribution of “*Cystoseira*” to the total macrophyte stocks decreased from 79 to 64 % with the increase of depth from 0.5 to 10 m, and the proportion of *Phyllophora* in the 0.5–15 m depth range fluctuated from 0 to 7 % of total macrophyte stocks. According to the calculated data, the total reserves of macrophytes were estimated as 3716.0 tons, of which *Ericaria crinita* and *Gongolaria barbata* made almost 2522.6 tons and *Phyllophora crispa* accounted for 87.6 tons (68 and 2 %, respectively). On average, the macrophyte concentration of the studied coastal area was 38.7 tons (including 26.3 t of *Cystosira* and 0.9 t of *Phyllophora crispa*) per one ha. The analysis of the obtained materials showed that the water area of the natural monument was characterized by high productive indices of macrophytes and significant stocks of *Ericaria crinita* and *Gongolaria barbata*. It was found that the natural monument played an important role in the conservation and protection of the bottom vegetation in the coastal zone of the southwestern part of the Heracles Peninsula, being a peculiar reserve of *Ericaria crinita* and *Gongolaria barbata* community.

Key words: macrophytobenthos, protected areas, resources, *Ericaria crinita*, *Gongolaria barbata*, *Phyllophora crispa*, Black Sea.

Поступила в редакцию 10.09.23
Принята к печати 06.10.23

Влияние микробного препарата на миграцию подвижных форм Pb в системе почва – озимая пшеница

Овсиенко О. Л., Чайковская Л. А., Баранская М. И.

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма
Симферополь, Россия
olovsien@mail.ru, ludachaika@mail.ru, baranskaya@rambler.ru

Среди наиболее распространенных загрязнителей окружающей среды тяжелые металлы (ТМ) занимают ведущее положение. Исследование мигрирующей способности ТМ в системе почва – растение и поиск приемов снижения их токсического действия, в частности в агроценозах, является приоритетным и актуальным. Цель проведенных исследований заключалась в определении влияния микробного препарата Фосфостим-Агро (биоагент – фосфатмобилизующая и ростстимулирующая бактерия – *Lelliottia nimipressuralis* ССМ 32-3) на миграцию водорастворимых форм Pb в системе чернозём южный – *Triticum aestivum*. В условиях полевого опыта в почву вносили раствор ацетата свинца из расчётов (по содержанию Pb), соответствующих уровням загрязнения: 5, 10 и 20 ПДК. Содержание подвижных форм свинца в образцах почвы, корней, соломы и зерна определяли методом атомно-абсорбционного анализа. Выявлено, что при загрязнении чернозема южного свинцом наибольшее количество его подвижных форм накапливалось в ризосфере (54–202 мг/кг) и мигрировало в корни (56–367 мг/кг) озимой пшеницы. Наименьшее содержание Pb, не превышающее ПДК (0,5 мг/кг), обнаружено в зерне *T. aestivum*: оно варьировало в пределах 0,05–0,3 мг/кг в зависимости от уровня загрязнения почвы. Применение микробного препарата Фосфостим-Агро для предпосевной обработки семян озимой пшеницы позволило снизить содержание подвижных форм свинца, как в прикорневой почве, так и в самих растениях. Выявлено, что в ризосфере инокулированных растений количественное содержание Pb снизилось на 5–25 %, а в корнях, соломе и зерне бактеризованных растений – на 18–21 %, 6–25 % и 10–25 % соответственно по сравнению с вариантами без обработки микробным препаратом.

Ключевые слова: *Triticum aestivum*, микробный препарат Фосфостим-Агро, свинец, ризосфера.

ВВЕДЕНИЕ

Тяжелые металлы (ТМ), и в особенности их подвижные формы, являются экологически опасным фактором, влияющим на живые организмы (Титов, 2014). Избыточное накопление ТМ в объектах окружающей среды приводит к негативному воздействию токсикантов на экосистему в целом (Тёплая, 2013). Одним из основных концентраторов ТМ являются почвы, в которые поллютанты попадают из природных источников, а также в результате антропогенной деятельности (Ильин, 1991). Накапливаясь в грунте, ТМ активно воздействуют на мезофауну и микробиоту, а также могут мигрировать в растения, в том числе и сельскохозяйственные культуры (Ильин, 1991; Самохвалова, 2006; Багаева, 2013). Далее по трофическим цепям поллютанты поступают в организм животных и человека. Среди наиболее токсичных ТМ выделяют свинец (Pb), неорганические соединения которого отнесены к политропным ядам и потенциальным канцерогенам (Шестова, 2012). Основными источниками поступления свинца в почву являются промышленные предприятия и транспорт (Дабахов, 2005). В отличие от других загрязняющих веществ, разлагающихся при воздействии факторов биологической и физико-химической природы, ТМ сохраняются в почве длительный период времени. Так, период полужизни Pb составляет 740–5900 лет (Кабата-Пендиас, 1989). Поэтому, изучение особенностей миграции и поиск приёмов снижения токсического действия ТМ на растения имеет важное агроэкологическое значение.

В последние десятилетия в растениеводстве активно применяются экологически безопасные микробные препараты, основой которых являются ризосферные бактерии группы PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria). Такие препараты способны не только улучшить

питание растений и повысить продуктивность сельскохозяйственных культур, но и защитить их от воздействия стресс-факторов, в частности ТМ (Zahir, 2004; Чеботарь, 2011; Курамшина, 2016; Duan, 2022).

Известно, что микроорганизмы способны трансформировать токсичные формы ТМ в менее токсичные для растений нерастворимые комплексы (Белоголова, 2013). Этот аспект даёт возможность использовать микробные препараты на почвах, загрязненных ТМ, а изучение влияния бактериализации на миграцию ТМ из грунта в растения в условиях нарастания антропогенного воздействия на экосистемы является актуальным.

Цель наших исследований – определить влияние микробных препаратов (на примере Фосфостим-Агро) на миграцию подвижных форм свинца в системе почва – растения озимой пшеницы в условиях мелкоделяночных полевых опытов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Полевые исследования проводили на опытном поле Крымского агропромышленного колледжа ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» (Симферопольский район, РК).

Почва – чернозем южный малогумусный карбонатный. Агрохимическая характеристика: содержание гумуса – 2,5 %, подвижного азота – 5,3 мг/100 г почвы, подвижных форм фосфора – 2,6 мг/100 г почвы; рН водной вытяжки – 7,0–7,2. Площадь опытных делянок составляла 10 м² с рендомизированным размещением, повторность вариантов – четырёхкратная.

Культура – озимая пшеница *T. aestivum*. Ранней весной в почву вносили водный раствор ацетата свинца (Pb(CH₃COO)₂) в расчетном количестве, соответствующем уровням загрязнения Pb: 5, 10 и 20 ПДК. Так, на 1 кг почвы (слой 0–20 см) количество вносимого свинца составило: 30 мг (5 ПДК), 60 мг (10 ПДК), 120 мг (20 ПДК). В контрольных вариантах соли ТМ не вносили. Семена пшеницы перед посевом обрабатывали микробным препаратом, в контрольном варианте – водой. Для инокуляции семян пшеницы использовали биопрепарат Фосфостим-Агро, разработанный в отделе сельскохозяйственной микробиологии ФГБУН НИИСХ Крыма (Чайковская, 2019). Биоагентом микробного препарата является фосфатмобилизующая и ростстимулирующая бактерия *Lelliottia nimipressuralis* ССМ 32-3, входящая в состав Крымской коллекции микроорганизмов [<http://ckp-rf.ru/usu/507484/>].

После уборки урожая проводили количественное определение содержания подвижных форм свинца в образцах почвы, корней, соломы и зерна методом атомно-абсорбционного анализа согласно ГОСТ (ГОСТ 26929-94. Сырье..., 1998; ГОСТ 30178-96. Сырье..., 2010; РД 52.18.289-90. Методические..., 1990) в лаборатории ФГБУ «Центр агрохимической службы «Крымский».

Полевые эксперименты и статистическая обработка полученных данных проведены согласно общепринятым методикам (Доспехов, 1985; Лакин, 1973).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ данных, полученных в результате проведенных исследований, показал, что в прикорневой почве контрольного варианта (без внесения ТМ) содержание подвижных форм свинца составляло 1,42 мг/кг, что не превышало ПДК (6 мг/кг). Также нами выявлена тенденция к снижению содержания Pb (до 1,17 мг/кг) в ризосфере инокулированной микробным препаратом пшеницы, выросшей на естественном фоне.

Внесение раствора ацетата свинца в количестве, соответствующем уровню загрязнения 5, 10 и 20 ПДК, привело к повышению содержания подвижных форм Pb в почве прикорневой зоны пшеницы. Так, их количество варьировало в пределах 54–202 мг/кг почвы в зависимости от уровня загрязнения, что в 9–34 раза превышало значение ПДК (рис. 1).

Применение Фосфостим-Агро для предпосевной инокуляции семян способствовало снижению концентрации подвижных форм Pb в ризосфере пшеницы, что было отмечено на каждом из уровней загрязнения почвы ТМ. Так, при 5 ПДК и 20 ПДК наблюдалась тенденция

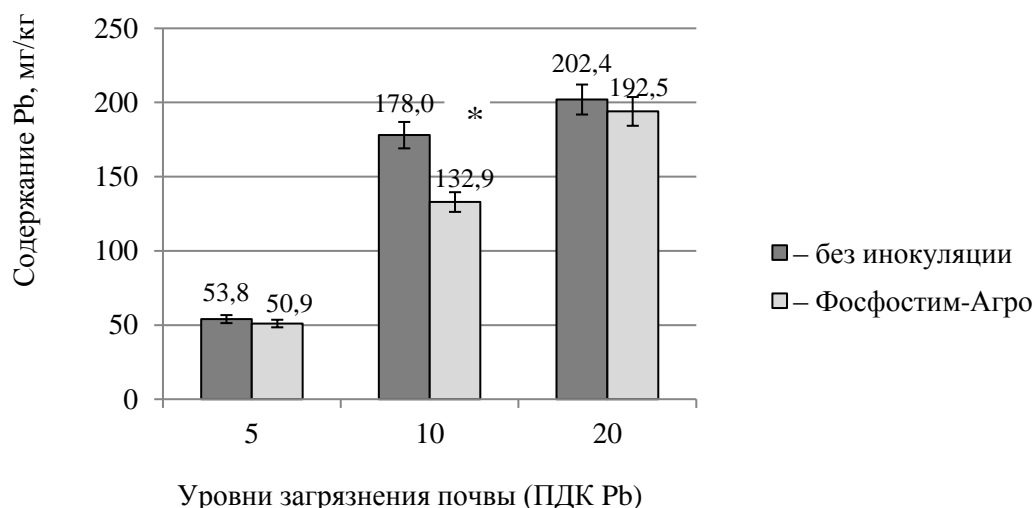


Рис. 1. Содержание подвижных соединений Рb в ризосфере озимой пшеницы при различных уровнях загрязнения почвы (чернозем южный) ацетатом свинца
* – различия с контролем значимы ($p \leq 0,05$).

к снижению содержания свинца, а на фоне 10 ПДК количество подвижных соединений Рb в прикорневой зоне бактеризованных растений снизилось на 25 %.

Согласно полученным данным, установлено, что количественное содержание подвижных соединений свинца в корнях пшеницы превысило их накопление в ризосфере. Так, в корнях растений, выросших на контрольных делянках без внесения $Pb(CH_3COO)_2$, количество подвижных соединений свинца составило 9,4 мг/кг против 1,4 мг/кг в ризосфере пшеницы. При загрязнении почвы Рb этот показатель достиг значения 56,2 мг/кг на уровне 5 ПДК и 188,5 мг/кг на уровне 10 ПДК. На фоне 20 ПДК в корнях опытных растений накапливалось 366,7 мг/кг свинца, что в 1,8 раз превысило содержание ТМ в прикорневой зоне *T. aestivum* (рис. 2).

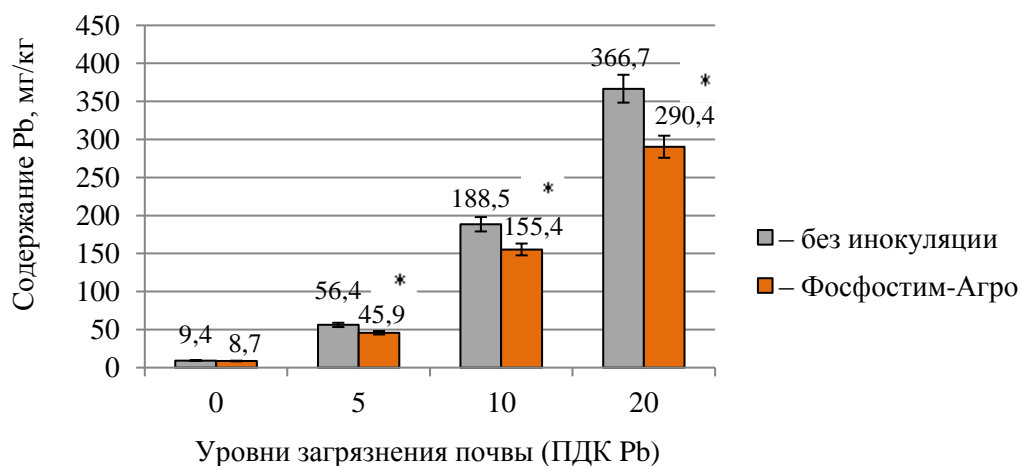


Рис. 2. Содержание подвижных соединений Рb в корнях озимой пшеницы при различных уровнях загрязнения почвы (чернозем южный) ацетатом свинца
* – различия с контролем значимы ($p \leq 0,05$).

Полученные нами результаты соответствуют данным литературных источников, согласно которым пшеница относится к растениям-аккумуляторам (Пищик, 2015), при этом

ТМ накапливаются главным образом в корневой системе, непосредственно взаимодействующей с загрязненной почвой (Лайдинен, 2011).

Предпосевная инокуляция семян микробным препаратом Фосфостим-Агро способствовала снижению концентрации свинца в корнях озимой пшеницы при выращивании растений на фоне различных уровней загрязнения почвы. На наш взгляд, это может быть обусловлено способностью бактерий, входящих в состав микробного препарата, связывать свинец в слабо подвижные формы, что согласуется с данными других исследователей (Белоголова, 2013). Выявлено, что количественное содержание подвижных форм Рb в корнях пшеницы, выросшей из бактеризованных семян, было ниже, чем у неинокулированных растений: на 18–21 % при 5; 10 и 20 ПДК Рb (см. рис. 2).

Установлено, что значительно меньшее количество подвижных соединений свинца мигрирует из корней в наземную массу. Их содержание в соломе пшеницы, выросшей на естественном фоне, составляло 6,9 мг/кг и варьировало в пределах 9–48 мг/кг на фоне различных уровней загрязнения почвы ТМ (рис. 3).

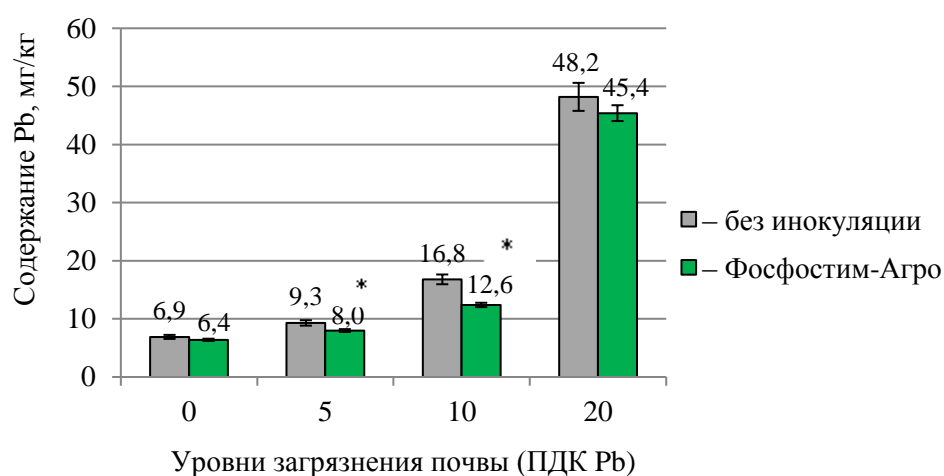


Рис. 3. Содержание подвижных соединений Рb в соломе озимой пшеницы при различных уровнях загрязнения почвы (чернозем южный) ацетатом свинца

* – различия с контролем значимы ($p \leq 0,05$).

Предпосевная обработка семян пшеницы микробным препаратом Фосфостим-Агро позволила снизить содержание подвижных форм свинца в фитомассе растений. При этом статистически достоверные различия между вариантами с инокуляцией и контролем (без обработки препаратом) отмечены при загрязнении почвы на уровнях 5 ПДК (13 %) и 10 ПДК (25 %) (см. рис. 3).

Минимальное количество подвижных соединений Рb выявлено в зерне озимой пшеницы: оно варьировало в пределах 0,05–0,3 мг/кг в зависимости от уровня загрязнения почвы, что не превышало допустимую концентрацию – 0,5 мг/кг (рис. 4).

В зерне бактеризованных растений, выросших на контрольных делянках (без внесения в почву ТМ), концентрация подвижных соединений свинца (0,03 мг/кг) уменьшилась в 3 раза и составила 0,01 мг/кг.

В вариантах с загрязнением почвы ацетатом свинца применение микробного препарата Фосфостим-Агро позволило на 10–25 % снизить количество Рb в зерне *T. aestivum*. Так, содержание подвижных форм Рb в зерне бактеризованной пшеницы составило 0,04 мг/кг на фоне 5 ПДК, 0,06 мг/кг на фоне 10 ПДК и 0,28 мг/кг на фоне 20 ПДК (см. рис. 4).

Таким образом, проведенные исследования показали, что предпосевная инокуляция семян озимой пшеницы микробным препаратом Фосфостим-Агро повлияла на накопление

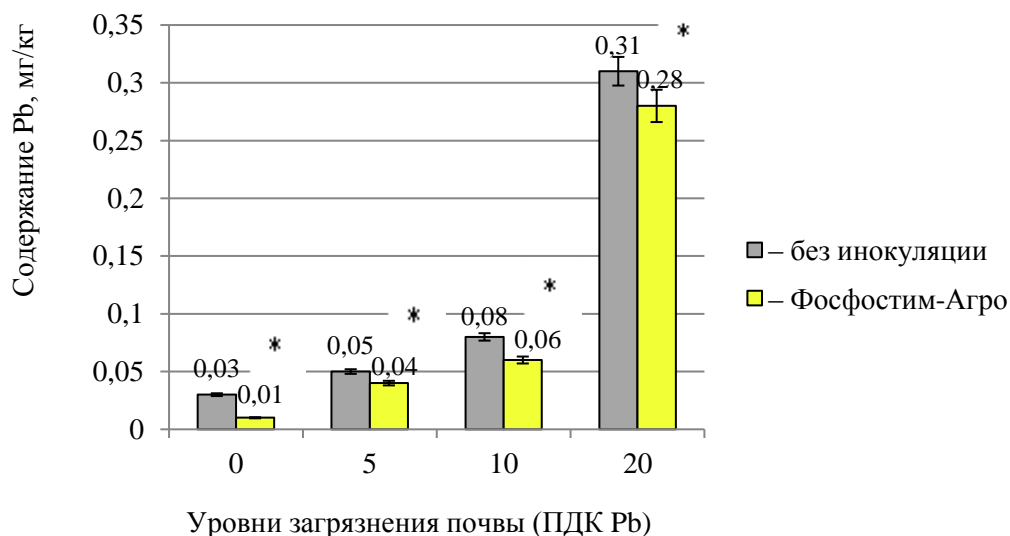


Рис. 4. Содержание подвижных соединений Pb в зерне озимой пшеницы при различных уровнях загрязнения почвы (чернозем южный)

* – различия с контролем значимы ($p \leq 0,05$).

подвижных форм свинца, как в прикорневой почве, так и в самих растениях. При различных уровнях загрязнения чернозема южного ацетатом свинца (5, 10 и 20 ПДК) в ризосфере инокулированной озимой пшеницы количественное содержание подвижных форм Pb снизилось на 5–25 %, а в корнях, соломе и зерне бактеризованных растений – на 18–21 %, 6–25 % и 10–25 % соответственно по сравнению с контрольными вариантами без обработки семян микробным препаратом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенного полевого опыта подтверждают то, что пшеница озимая является аккумулятором ТМ (Pb), подвижные формы которого мигрируют из почвы в растение и, главным образом, накапливаются в корневой системе *T. aestivum*. При этом наименьшее количество свинца, не превышающее ПДК, поступает в зерно озимой пшеницы. Установлено, что применение микробного препарата Фосфостим-Агро для предпосевной инокуляции семян *T. aestivum*, выращиваемой в условиях загрязнения чернозема южного свинцом (5, 10 и 20 ПДК), является эффективным приемом, позволяющим снизить содержание подвижных соединений Pb, как в ризосфере, так и в корнях, соломе и зерне бактеризованных растений озимой пшеницы.

Список литературы

- Багаева Т. В., Ионова Н. Э., Надеева Г. В. Микробиологическая ремедиация природных систем от тяжелых металлов: учебно-методическое пособие. – Казань: Казанский университет, 2013. – 56 с.
- Белоголова Г. А., Соколова М. Г., Гордеева О. Н. Влияние ризосферных бактерий на миграцию и биодоступность тяжелых металлов, мышьяка и фосфора в техногенно-загрязненных экосистемах // *Агрохимия*. – 2013. – № 6. – С. 69–77.
- ГОСТ 26929-94. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2010. – 12 с.
- ГОСТ 30178-96. Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1998. – 10 с.
- Дабахов М. В., Дабахова Е. В., Титова В. И. Тяжелые металлы: экотоксикология и проблемы нормирования. – Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2005. – 165 с.
- Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

- Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1991. – 151 с.
- Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
- Курамшина З. М., Смирнова Ю. В., Хайруллин Р. М. Повышение толерантности *Triticum aestivum* к кадмий-стрессу с помощью эндофитных штаммов *Bacillus subtilis* // Физиология растений. – 2016. – Т. 63, № 5. – С. 1–9.
- Чайковская Л. А., Мельничук Т. Н., Каменова И. А., Баранская М.И., Овсиенко О.Л. Фосфатмобилизирующий штамм почвенных бактерий *Lelliottia nimipressuralis* ССМ 32-3 и биопрепарат на его основе для оптимизации минерального питания растений, стимуляции их роста и повышения урожайности. Патент РФ № 2676926. – 2019. – Бюл. № 2. – 12 с.
- Лайдинен Г. Ф., Титов А. Ф., Батова Ю. В., Казнина Н. М., Кулаковская Т. В. Накопление и распределение тяжелых металлов в растениях *Phleum pratense* (L.), произраставших в условиях промышленного загрязнения // Физиология растений – фундаментальная основа экологии и инновационных биотехнологий: Материалы докладов (в двух частях) VII Съезда Общества физиологов растений России (Нижний Новгород, 4-10 июля 2011 г.). – Нижний Новгород, 2011. – Часть II. – С. 407–408.
- Лакин Г. Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа, 1973. – 343 с.
- Пищик В. Н., Воробьев Н.И., Проворов Н.А., Хомяков Ю.В. Механизмы адаптации растений к тяжелым металлам. Обзорная статья // Агрофизика. – 2015. – № 2. – С. 38–49.
- РД 52.18.289-90. Методические указания. Методика выполнения измерений массовой доли подвижных форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия, кобальта, хрома и марганца) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом. – М: Государственный комитет СССР по гидрометеорологии, 1990. – 36 с.
- Самохвалова В. Л., Фатеев А. И. Тяжелые металлы как фактор техногенного воздействия на почвенные микроорганизмы // Грунтознавство. – 2006. – Т. 7, № 1–2. – С. 88–95.
- Тёплая Г. А. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды (обзор литературы) // Астраханский вестник экологического образования. – 2013. – № 1 (23). – С. 182–192.
- Титов А. Ф., Казнина Н.М., Таланова В.В. Тяжелые металлы и растения. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2014. – 194 с.
- Чеботарь В. К., Щербakov А. В., Чижевская Е. П., Петров В. Б. Влияние засоления и тяжелых металлов на ростстимулирующую и антагонистическую активность почвенных бактерий и перспективы использования микроорганизмов для биоремедиации почв (аналитический обзор) // Достижения науки и техники АПК. – № 07. – 2011. – С. 28–31.
- Шестова Г. В., Ливанов Г. А., Остапенко Ю. Н., Иванова Т. М., Сизова К. В. Опасность хронического отравления свинцом для здоровья населения // Медицина экстремальных ситуаций. – № 4 (42). – 2012. – С. 65–76.
- Duan Ch., Mei Y., Wang Q., Wang Y., Li Q., Hong M., Hu Sh. Li Sh., Fang L. Rhizobium Inoculation Enhances the Resistance of Alfalfa and Microbial Characteristics in Copper-Contaminated Soil // Frontiers in Microbiology. – 2022. – Vol. 12. – P. 1–13.
- Xiao-Rui W., Sheng-Lu Zh., Shao-Hua W. Accumulation of Heavy Metals in Different Parts of Wheat Plant from the Yangtze River Delta, China // International Journal of Agriculture and Biology. – 2016. – Vol. 18. – P. 1242–1248.
- Zahir Z. A. Plant growth promoting rhizobacteria: application and perspectives in agriculture // Advances in Agronomy. – 2004. – Vol. 81. – P. 97–169.

Ovsienko O. L., Chaikovska L. A., Baranskaya M. I. The effect of microbial preparation on the migration of mobile Pb forms in the soil – winter wheat system // Ekosistemy. 2023. Iss. 36. P. 181–186.

Heavy metals (HM) take a leading position among the most common environmental pollutants. Studying the HM migration ability in the soil – plant system and searching for methods to reduce their toxic effect, particularly in agrocenosis, is significant and relevant. The aim of the researching was to determine the influence of the microbial preparation Phosphostim-Agro (bioagent – phosphate-mobilizing and growth-stimulating bacterium – *Lelliottia nimipressuralis* ССМ 32–3) on the migration of lead mobile forms in the southern chernozem – *Triticum aestivum* L. system. Under the conditions of the field experiment, soil contamination was carried out with a solution of lead acetate in amount exceeding Pb MPC by 5, 10 and 20 times. The content of mobile forms of lead in samples of soil, roots, straw and grain was determined by atomic absorption analysis. It was revealed that when southern chernozem was polluted with lead, the largest amount of its mobile forms accumulated in the rhizosphere (54–202 mg/kg) and migrated to the roots (56–367 mg/kg) of winter wheat. The lowest content of Pb, not exceeding MPC (0.5 mg/kg), was found in *T. aestivum* grain: it varied in the range of 0.05–0.3 mg/kg depending on the level of soil contamination. The application of the microbial preparation Phosphostim-Agro for pre-sowing inoculation of winter wheat seeds reduced the content of mobile forms of lead, both in the rhizosphere and in the aerial parts of the plants. It was revealed that in the rhizosphere of inoculated plants, the Pb content decreased by 5–25 %, and in the roots, straw and grain of bacterized plants – by 18–21 %, 6–25% and 10–25 %, respectively, compared to the variants without microbial inoculation.

Keywords: *Triticum aestivum*, microbial preparation Phosphostim-Agro, lead, rhizosphere.

Поступила в редакцию 01.08.23
Принята к печати 13.10.23

О гидрохимическом и альгологическом составе некоторых водных объектов бассейна реки Иж в зимне-ранневесенний период 2023 года

Госькова С. М.^{1,2}, Алтынцева А. В.², Дедюхин А. С.³, Смирнов К. Д.⁴

¹ Тобольская комплексная научная станция
Тобольск, Россия

² Удмуртский государственный университет
Ижевск, Россия

³ Строительная компания «Контакт»
Ижевск, Россия

⁴ Испытательная лаборатория Polymet Trading Limited
Ижевск, Россия

goskovasm@tobscience.ru, igz-tsb@udsu.ru, barser.07@mail.ru, smkrl@yandex.ru

В статье обсуждаются гидрохимические и экологические параметры некоторых водных объектов бассейна реки Иж (Удмуртская республика, Россия). Приводятся данные о концентрациях в воде реки Иж, её притоков и находящихся на них проточных водоёмов растворённых форм азота (как суммы азота нитратов, нитритов и аммония), фосфора (в составе ортофосфатов), серы (в составе сульфатов) и 10 тяжёлых металлов (свинца, кадмия, меди, никеля, цинка, железа, марганца, хрома, ванадия и молибдена) в период от подлёдного состояния до таяния снега и их сопоставление с общемировыми значениями для пресных вод из литературных данных. Выявляются точки с превышением ПДК для хозяйственно-питьевого водопользования и точки с максимальными показателями по исследуемым параметрам. Обсуждаются критерий соотношения азот/фосфор и его влияние на таксономический состав альгофлоры, трофический статус исследованных водных объектов в зимне-ранневесенний период и лимитирующие развитие водорослей химические факторы. Также приведено сравнение данных по Ижевскому водохранилищу за 2011 и 2023 годы по 5 показателям (содержания в воде нитратов, ортофосфатов, железа, марганца и меди). Сведения о содержании в пробах ионов биогенных элементов и тяжёлых металлов сопровождаются данными об их роли в метаболизме водорослевых клеток и токсичности. Публикуется таксономический список обнаруженных в пробах воды водорослей, включающий 56 видов из 41 рода, 7 классов, 4 отделов, рассматривается их развитие в лабораторных условиях и влияние химического состава воды на формирование альгофлоры.

Ключевые слова: биогенные элементы, тяжёлые металлы, водоросли, река Иж, Ижевское водохранилище, Ижевск.

ВВЕДЕНИЕ

Имеющиеся в литературе сведения о химическом составе поверхностных вод бассейна реки Иж довольно отрывочны, как и данные об их альгофлоре: результаты гидрохимических исследований Ижевского водохранилища в 2010–2011 годах описаны в монографии «Биологические и химические эффекты антропогенного эвтрофирования Ижевского водохранилища» (Котегов и др., 2013). Также сведения о некоторых показателях, превышающих предельно-допустимые концентрации (ПДК), и общей динамике развития фитопланктона доступны из статьи «Состояние фитопланктона Ижевского пруда в районе водозабора МУП города Ижевска «Ижводоканал» в 2002–2005 годах» (Иванова, Шарипова, 2006) и государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Удмуртской республики в 2021 году» (Государственный доклад..., 2022).

Цель нашей работы – получить первичную информацию о химическом составе воды нескольких притоков реки Иж и расположенных на них проточных водоёмов и выяснить таксономический состав водорослей в зимне-ранневесенний период 2023 года.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В этой статье представлены данные по содержанию растворённых биогенных элементов (в форме нитратов, нитритов, иона аммония, ортофосфатов и сульфатов) и десяти тяжёлых металлов (железа, меди, марганца, цинка, молибдена, никеля, свинца, ванадия, кадмия и хрома) в 36 пробах природной воды из 23 точек, взятых в период с февраля по апрель 2023 года. Кроме того, приведён список видов водорослей.

Пробы воды отбирались из рек и проточных водоёмов бассейна реки Иж в период с 5 февраля по 3 апреля 2023 года на 9 водных объектах в 23 точках – от 1 до 9 точек на каждом объекте, обозначенных на карте (рис. 1):

река Карлутка (открытая вода):

Кар1 – 56°51'26" с. ш., 53°13'59" в. д.

Кар2 – 56°50'18" с. ш., 53°15'01" в. д.

река Подборенка:

П1 – 56°52'38" с. ш., 53°11'59" в. д.

П2 – 56°51'27" с. ш., 53°11'20" в. д.

река Сельчка, пруд:

С1 – 57°09'38" с. ш., 53°09'41" в. д.

С2 – 57°09'41" с. ш., 53°09'46" в. д.

С3 – 57°09'14" с. ш., 53°09'56" в. д.

С4 – 57°09'08" с. ш., 53°09'50" в. д.

река Иж выше Ижевского водохранилища:

В1 – 56°55'40" с. ш., 53°04'52" в. д.

В2 – 56°55'46" с. ш., 53°04'47" в. д.

В3 – 56°56'14" с. ш., 53°04'27" в. д.

В4 – 56°56'00" с. ш., 53°04'32" в. д.

Ижевское водохранилище:

И.п.1 – 56°51'24" с. ш., 53°09'56" в. д.

И.п.2 – 56°51'00" с. ш., 53°11'39" в. д.

И.п.3 – 56°51'27" с. ш., 53°09'56" в. д.

река Иж в городской черте (открытая вода):

Иж1 – 56°50'20" с. ш., 53°11'54" в. д.

Иж2 – 56°50'00" с. ш., 53°12'10" в. д.

Иж3 – 56°49'43" с. ш., 53°12'07" в. д.

река Позимь (открытая вода):

Поз – 56°48'07" с. ш., 53°13'34" в. д.

река Иж ниже городских очистных сооружений:

М2 – 56°47'26" с. ш., 53°13'22" в. д.

М1 – 56°47'21" с. ш., 53°13'11" в. д.

река Малиновка, пруд и канал:

Мал.п. – 56°51'40" с. ш., 53°06'28" в. д.

Канал – 56°51'31" с. ш., 53°06'55" в. д.

Объём проб – 1 л в каждой точке отбора. Забор воды проводился в каждой точке отбора по всему столбу воды. Всего было собрано и проанализировано 36 проб. Фильтрацию отобранных проб осуществляли при помощи бумажных фильтров, после чего осадок перемещали в прозрачные пластиковые контейнеры объёмом 120 мл и добавляли 100 мл воды, отделённой от общего объёма пробы. Затем контейнеры переносились в помещение с температурой 20–25 °С и естественным освещением.

Видовой состав присутствовавших в пробах водорослей выявляли в первый день после отбора проб; повторно – спустя две недели.

Измерение массовых концентраций тяжёлых металлов (ТМ) было осуществлено по методике ПНД Ф 14.1:2.253-09 (М 01-46-2013) при помощи атомно-абсорбционного спектрометра с электротермической атомизацией «МГА-915МД».

Измерение концентраций ионов биогенных элементов (БЭ) было выполнено при помощи спектрофотометра «UNICO 2100» следующими методами:

- нитраты – фотометрическим методом с салициловой кислотой (ПНД Ф 14.1:2:4.4-95);
- нитриты – фотометрическим методом с реактивом Грисса (ПНД Ф 14.1:2:4.3-95);
- аммоний-ион – фотометрическим методом с реактивом Несслера (ПНД Ф 14.1:2.1-95);
- ортофосфаты – фотометрическим методом с аскорбиновой кислотой (ГОСТ 18309-2014);
- сульфаты – турбидиметрическим методом с хлористым барием (ПНД Ф 14.1:2.159-2000).

Водоросли были идентифицированы с использованием определителей (Царенко, 1990; Куликовский и др., 2016) и электронной базы данных AlgaeBase (2023). Номенклатура таксонов приведена по AlgaeBase (2023).

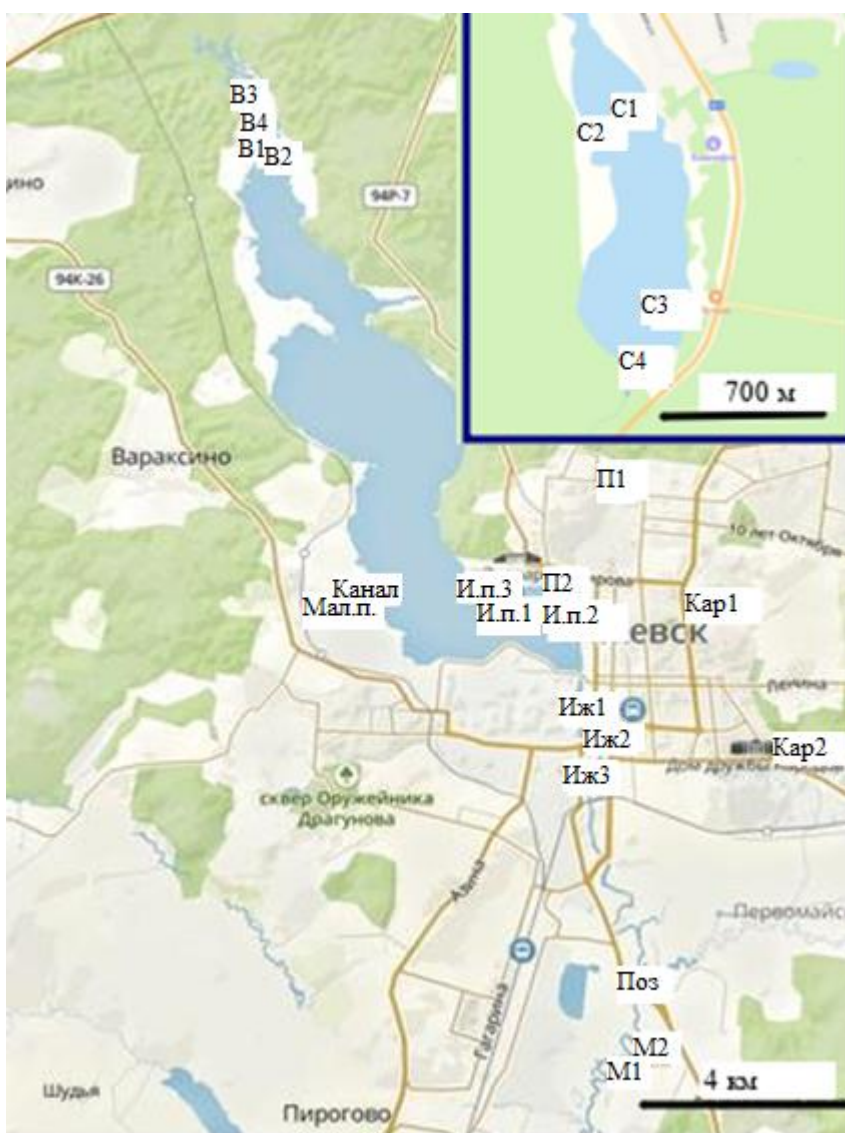


Рис. 1. Карта водных объектов и расположение точек отбора проб. На вставке участок реки Селычка (использован сервис Яндекс Карты)

Таблица 1

Содержание ионов биогенных элементов (мг/дм³) и соотношение N/P в пробах воды из водных объектов бассейна реки Иж

Дата отбора пробы	Точка отбора и номер пробы	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	oPO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	N/P
06.02	Карлутка 1	30,6	0,02	0,30	0,03	48	794
	Карлутка 2	46,0	0,02	<0,10	0,02	48	1733
02.03	Карлутка 1/2	38,4	0,20	0,20	<0,01	45	8900
27.02	Карлутка 2/2	42,2	0,02	0,20	0,03	47	1077
11.03	Карлутка 1/3	18,4	0,25	<0,10	0,05	45	264
	Карлутка 2/3	23,0	0,28	0,25	0,02	48	913
03.04	Карлутка 1/4	17,5	0,06	0,30	0,02	–	700
	Карлутка 2/4	24	0,14	0,10	0,01	–	1833
06.02	Подборенка 1	3,0	0,01	<0,10	0,01	25	226
	Подборенка 2	5,8	<0,01	<0,10	0,02	–	218
28.02	Позимь 1	16,8	0,05	<0,10	0,07	–	190
12.03	Позимь 1/2	11,8	0,06	2,40	<0,01	25	4550
06.02	Ижевский пруд 1	1,2	<0,01	<0,10	<0,01	–	270
	Ижевский пруд 2	5,8	0,02	0,10	0,02	–	233
13.03	Ижевский пруд 2/2	5,2	0,01	1,60	<0,01	–	2420
06.02	Ижевский пруд 3	20,0	<0,01	<0,10	0,02	–	753
01.04	Ижевский пруд 3/2	17	0,05	<0,10	0,03	–	428
05.02	Иж 1	4,6	0,01	0,10	0,02	–	186
	Иж 2	2,2	0,01	<0,10	<0,01	–	500
13.03	Иж 1/2	3,0	0,20	0,15	0,06	–	45
	Иж 2/2	3,1	0,25	0,20	0,01	13	310
03.04	Иж 1/3	7,2	0,02	0,25	0,02	–	303
	Иж 2/3	9,0	0,03	0,25	0,02	–	372
20.03	Иж 3	6,0	0,15	<0,10	0,01	24	467
20.02	Воложка 1	2,6	0,03	<0,10	0,02	–	100
	Воложка 2	2,8	0,01	0,10	0,02	17	118
01.03	Воложка 3	4,6	0,03	0,25	0,05	12	77
	Воложка 4	4,2	0,01	0,10	0,02	–	167
26.02	Сельчка 1	11,0	0,12	<0,10	0,16	–	50
	Сельчка 2	14,6	0,02	<0,10	0,02	22	550
	Сельчка 3	3,0	1,30	<0,10	0,03	18	119
	Сельчка 4	13,4	0,60	<0,10	<0,01	–	3200
20.03	Медведево 2	17,6	0,32	0,10	0,62	30	21
	Медведево 1	12,4	0,34	0,10	0,35	–	27
06.02	Малиновский пруд	44,0	0,01	0,10	<0,01	34	10000
	Канал	20,0	0,02	<0,10	0,08	7	225

Примечание к таблице. Жирным шрифтом выделены максимальные концентрации ионов; на красном фоне – значения, превышающие ПДКх.–п. по СанПиН 2.1.4.1074-01. Пробы Карлутка 1, 1/2, 1/3, 1/4 – из точки Кар1; Карлутка 2, 2/2, 2/3, 2/4 – из точки Кар2; Подборенка 1, Подборенка 2 – из точек П1 и П2; Позимь 1, Позимь 1/2 – из точки Поз; Ижевский пруд 2 и 2/2, 3 и 3/2 – из точек И.п.2 и И.п.3 соответственно; Ижевский пруд 1 – И.п.1; Иж 1, 1/2, 1/3 – из точки Иж1; Иж 2, 2/2, 2/3 – из точки Иж2; Воложка 1, 2, 3, 4 – из точек В1, В2, В3, В4; Сельчка 1, 2, 3, 4 – из точек С1, С2, С3, С4; Медведево 1, 2 – из точек М1, М2; Малиновский пруд – из точки Мал.п.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследуемые БЭ учитывались только в гидролизованной форме, непосредственно доступной для потребления фитопланктоном, то есть растворённый неорганический азот как сумма нитратного, нитритного и аммонийного азота, фосфор ортофосфатов и сульфаты.

Азот. Основные азотосодержащие вещества водорослевой клетки – аминокислоты, нуклеиновые кислоты и хлорофилл. Крупные вакуоли могут содержать значительное количество неорганического азота. На белки и аминокислоты приходится 65–85 % общего азота клетки. Белки составляют 30–60 % клеточной массы, являясь основной азотосодержащей макромолекулярной фракцией. Свободные аминокислоты содержат до 6–12 % общего азота клетки, однако это значение снижается при его дефиците в среде (Geider, La Roche, 2002). У диатомовых водорослей небольшое количество азота связано в хитиновых структурах.

NO_3^- : 1,2 – 46,0 мг/дм³ (диапазон полученных значений; то же в последующем). ПДК_{х.-п.} – 45,0 мг/дм³ (СанПиН 2.1.4.1074-01), ПДК_{рыб.} – 40,0 мг/дм³ (Нормативы..., 2020). Здесь и в дальнейшем ПДК для воды хозяйственно-питьевого значения (ПДК_{х.-п.}) указаны по СанПиН 2.1.4.1074-01, ПДК для воды водных объектов рыбохозяйственного значения – по Приказу Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13.12.2016 №552 (Нормативы..., 2020).

Нитратный азот составляет большую часть растворённого азота. Содержание нитратов в подземных водах обычно значительно выше, чем в поверхностных. Высокое содержание нитратов характерно для выходящих на поверхность грунтовых вод центральной части Удмуртии. Зимой грунтовое питание малых рек и низкая биологическая продукция приводят к высоким концентрациям нитратов, снижающимся при снеготаянии.

NO_2^- : <0,01 – 1,30 мг/дм³. ПДК – 3,0 мг/дм³, ПДК_{рыб.} – 0,08 мг/дм³.

Нитритный азот присутствует в природной воде как промежуточное звено в цепи нитрификации органического вещества. Его высокие значения сигнализируют о свежем органическом загрязнении. В исследованных пробах содержание нитритов было низким, за исключением пробы «Сельчка 3» из нижней части пруда на реке Сельчка.

NH_4^+ : <0,10 – 2,40 мг/дм³. ПДК_{х.-п.} – 2,5 мг/дм³, ПДК_{рыб.} – 0,5 мг/дм³.

Не подвергшийся нитрификации аммоний из органических донных отложений может потребляться цианобактериями. Диапазон концентраций в исследованном материале оказался широким с заметным повышением значений при таянии снега.

Фосфор. Фосфор связан преимущественно в нуклеиновых кислотах и фосфолипидах. Наибольшее его количество (около 30 %) содержится в РНК. Неорганический фосфор присутствует в клетках в виде полифосфатных включений, способных содержать до 40 % общего фосфора клетки (Geider, La Roche, 2002). Большая часть фосфора поступает в водоёмы с поверхностными водами, несущими частицы почвы, в виде смеси орто-, пиро- и полифосфатов, фосфорных эфиров и фосфонатов. В воде соединения фосфора гидролизуются, в том числе ферментативно, до ортофосфата, единственно доступного для потребления бактериями и водорослями (Chorus, Spijkerman, 2021).

PO_4^{3-} (ортофосфаты): <0,01–0,62 мг/ дм³. ПДК_{х.-п.} – 3,5 мг/дм³, ПДК_{рыб.} – 0,05–0,2 мг/дм³ (в зависимости от трофического статуса водоёма).

Фосфор считается основным лимитирующим элементом для развития флоры пресных водоёмов. Поступление фосфора в водотоки с талой водой часто является максимальным за годичный цикл (Rosenberg, Schroth, 2017). Для водоёмов выделяют три основных трофических статуса, исходя из существующих данных по предельно-допустимым концентрациям фосфора. Так, согласно РД 52.24.382-2019, олиготрофные водоёмы содержат до 0,05 мг/дм³ фосфора, мезотрофные – до 0,15 мг/дм³, эвтрофные – до 0,20 мг/дм³. Наибольшие концентрации среди изученных проб соответствовали мезотрофному и эвтрофному статусу, а именно: 0,11 и 0,20 мг/дм³ в пересчёте на фосфор в точках М1 и М2 соответственно. В большей части проб содержание фосфора было низким.

Отношение N/P является основным показателем трофического уровня аквасистемы (Liang et al., 2020). Среднее молярное значение 16:1 (7:1 по массе) считается оптимальным для роста морского фитопланктона, несмотря на видоспецифичность диапазона оптимума. Тем не менее, молярное отношение N/P клетки должно находиться в пределах 10–50 (Corelli, 1999). Разница потребностей в азоте и фосфоре между водорослевыми группами используется для прогнозирования динамики их вегетации. Так, в описанном в «The nitrogen: phosphorus ratio as a factor...» (Bulgakov, Levich, 1999) лабораторном эксперименте при N/P 5–10 (по массе) доминировали цианобактерии, а при 20–50 – зелёные водоросли. При исследовании канадских озёр, где отношение $\text{NO}_3^-/\text{PO}_4^{3-}$ рассматривалось как приближенное к N/P, цианобактерии доминировали при $\text{NO}_3^-/\text{PO}_4^{3-}$ 3,25–6,5 (по массе), а зелёные водоросли – при $\text{NO}_3^-/\text{PO}_4^{3-}$ 13–32,5 (Hushchyna, Nguyen-Quang, 2017). Применительно к пресноводным водоёмам среда считается азот-лимитированной при N/P < 10 и фосфор-лимитированной – при N/P > 17. С увеличением N/P трофность снижается. Концентрация хлорофилла, являющаяся основным показателем уровня первичной продукции водоёма, находится в более тесной связи с содержанием общего фосфора, чем с содержанием общего азота, особенно в олиго-мезотрофных условиях. В гиперэвтрофных условиях оба элемента могут быть лимитирующими. Увеличение концентрации хлорофилла приводит к уменьшению отношения N/P (Ekholm, 2008).

Для всех рассмотренных водных объектов в это время года характерно фосфорное лимитирование (табл. 1). Таксономический состав водорослей в пробах и их развитие показали, что при относительно низких в данном контексте значениях N/P 20–40, а также достаточном содержании фосфора был возможен рост диатомовых водорослей, и прежде всего *Melosira varians*. При значениях N/P 70–120 и содержании фосфора от 0,2 мг/дм³ развивались хлорофитовые и харофитовые водоросли. Цианобактерии незначительно развились в некоторых пробах со значениями N/P 100–250 и содержанием фосфора до 0,3 мг/дм³. Несовпадение с литературными данными можно объяснить отличием концентраций кремния в сравниваемых водных объектах (в нашем случае рассматривались проточные системы с преимущественно грунтовым в зимний период питанием, предполагающим высокое содержание кремния, дефицит которого в других случаях, в том числе рассмотренных в литературе озёр, мог исключить диатомовые водоросли из состава доминантов), существенной разницей физических условий исследования, заданных сезоном и типом водных объектов, и в силу этой причины – изначально разным таксономическим составом водорослей. Кроме того, относительно небольшие объёмы проб и размер выборки в нашем исследовании могли увеличить вероятность случайных явлений.

Сера. SO_4^{2-} : 7–48 мг/дм³. ПДК_{х.-п.} – 500 мг/дм³, ПДК_{рыб.} – 100 мг/дм³.

Пресные воды характеризуются большим диапазоном концентраций серы (5–500 мг/дм³), что часто приводит к её недостатку для гидрофлоры. В морских экосистемах ситуация противоположна: содержание серы обычно не является лимитирующим фактором и к тому же оно не претерпевает значительных сезонных колебаний. Растительными клетками сера потребляется в виде сульфата, после этого, в хлоропластах, сульфат-ион восстанавливается до сульфида и включается в состав цистеина, который затем может быть трансформирован в метионин и глутатион (Giordano et al., 2008). В морских водорослях большая часть серы связывается в несущем осмолитическую функцию диметилсульфониопропionate. Важно отметить, что некоторые пресноводные водоросли сохраняют способность к его синтезу, несмотря на низкие концентрации сульфатов (Toda et al., 2023). Отдельные группы пресноводных водорослей способны также к выделению летучих серосодержащих соединений и тиоэфиров (Xuwei et al., 2022). Кроме того, серосодержащие мембранные белки являются важным фактором устойчивости водорослей к действию ТМ (Ferrari et al., 2022).

Рb: <2,0–32,67 мкг/дм³. ПДК_{х.-п.} – 30 мкг/дм³, ПДК_{рыб.} – 6 мкг/дм³.

Общемировые средние значения содержания элемента в поверхностных водах: от 9300 мкг/дм³ в 1970-х годах до 116100 мкг/дм³ в 2010-х годах (Qiaoqiao et al., 2020).

Таблица 2

Содержание тяжёлых металлов (мкг/дм³) в пробах воды из водных объектов бассейна реки Иж

Точка и номер пробы	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Fe	Mn	Cr	V	Mo
Кар1	3,72	<0,2	12,45	<5,0	6,22	1315,11	41,42	2,68	<1,0	1,756
Кар2	11,18	0,482	34,16	6,27	21,05	901,20	137,21	4,12	1,640	2,340
Кар1/2	32,67	0,303	10,37	5,17	19,67	824,19	58,90	3,92	<1,0	2,223
Кар2/2	26,63	0,595	41,41	8,97	35,28	800,42	73,61	7,02	2,180	7,342
Кар1/3	9,05	0,239	21,25	5,24	30,97	534,14	44,49	3,73	<1,0	3,196
Кар2/3	16,35	0,428	48,60	6,85	54,43	685,79	62,34	5,58	1,775	4,382
П1	2,91	<0,2	5,56	<5,0	11,18	738,80	36,79	2,51	<1,0	1,472
П2	2,97	<0,2	4,02	<5,0	7,00	411,67	72,66	2,76	<1,0	1,134
Поз1	25,53	0,297	51,21	6,70	30,01	1523,54	53,38	4,18	2,130	4,533
Поз1/2	8,11	<0,2	43,35	<5,0	31,00	816,52	30,34	2,88	<1,0	2,089
С1	<2,0	<0,2	1,15	<5,0	<5,0	282,86	7,49	<2,5	<1,0	<1,0
С2	<2,0	<0,2	3,43	<5,0	6,25	310,13	10,33	<2,5	<1,0	<1,0
С3	<2,0	<0,2	2,80	<5,0	<5,0	171,13	11,65	<2,5	<1,0	<1,0
С4	2,05	<0,2	5,06	<5,0	5,78	394,70	15,66	2,82	<1,0	<1,0
В1	<2,0	<0,2	3,65	<5,0	<5,0	158,21	19,64	<2,5	<1,0	<1,0
В2	<2,0	<0,2	2,18	<5,0	<5,0	74,23	14,69	<2,5	<1,0	1,120
В3	<2,0	<0,2	5,40	<5,0	7,14	315,62	24,17	2,90	<1,0	1,244
В4	<2,0	<0,2	3,25	<5,0	5,85	208,94	13,83	<2,5	<1,0	<1,0
И.п.1	<2,0	<0,2	1,51	<5,0	6,10	250,10	11,37	<2,5	<1,0	<1,0
И.п.2	<2,0	<0,2	3,27	<5,0	8,41	146,30	27,06	<2,5	<1,0	<1,0
И.п.3	2,01	<0,2	7,53	<5,0	5,86	513,08	21,59	<2,5	<1,0	<1,0
И.п.2/2	<2,0	<0,2	2,42	<5,0	10,03	338,24	25,80	<2,5	<1,0	<1,0
Иж1	2,23	<0,2	4,53	<5,0	<5,0	199,25	26,82	<2,5	1,284	<1,0
Иж2	2,40	<0,2	3,19	<5,0	<5,0	416,12	15,80	<2,5	1,154	1,017
Иж1/2	2,84	<0,2	7,83	<5,0	7,36	453,73	33,14	<2,5	<1,0	<1,0
Иж2/2	3,46	<0,2	5,31	<5,0	7,51	402,87	35,68	<2,5	<1,0	1,358
Иж3	4,45	<0,2	10,39	<5,0	10,90	514,74	38,28	<2,5	<1,0	<1,0
М2	8,80	<0,2	25,72	<5,0	22,80	682,43	44,53	4,23	<1,0	2,356
М1	5,26	<0,2	16,11	<5,0	13,01	433,83	26,81	2,85	<1,0	1,029
Мал.п.	2,14	<0,2	4,15	5,01	<5,0	207,40	5,59	2,60	<1,0	<1,0
Канал	4,08	<0,2	8,49	<5,0	<5,0	285,26	25,44	<2,5	<1,0	<1,0

Примечание к таблице. Выделенные красным цветом значения превышают ПДК_{х.-п.} по СанПиН 2.1.4.1074-01. Максимальные концентрации элементов выделены жирным шрифтом. Обозначения проб соответствуют таковым в таблице 1: Кар1, 2, 1/2, 2/2, 1/3, 2/3 – Карлутка 1, 2, 1/2, 2/2, 1/3, 2/3; П1, П2 – Подборенка 1, 2; Поз1, Поз1/2 – Позимь 1, 1/2; С1, 2, 3, 4 – Сельчка 1, 2, 3, 4; В1, 2, 3, 4 – Воложка 1, 2, 3, 4; И.п.1, 2, 3, 2/2 – Ижевский пруд 1, 2, 3, 2/2; М1, 2 – Медведево 1, 2; Мал.п. – Малиновский пруд. Даты отбора проб приведены в таблице 1.

Содержание в речных водах от 1 до 23 мкг/дм³ (Грушко, 1979). Функции свинца в метаболизме водорослей неизвестны. В высоких концентрациях (от 2000 мкг/л) приводит к аномалиям в морфологии, а также ингибирует фотосинтез (Zakeri, Abu Bakar, 2013).

Полученные нами значения содержания Pb сильно варьируют во времени. Повышение содержания элемента наблюдалось в черте города. В пробе Кар 1/2 из реки Карлутки было зафиксировано незначительное превышение ПДК свинца.

Cd: <0,2–0,595 мкг/дм³. ПДК_{х.-п.} – 1мкг/дм³, ПДК_{рыб.} – 5 мкг/дм³.

Общемировые средние значения содержания элемента в поверхностных водах: от 800 мкг/дм³ в 1970-х годах до 25300 мкг/дм³ в 2010-х годах (Qiaoqiao et al., 2020). В незагрязнённых речных водах концентрации не превышают 1 мкг/дм³ (Логонова, Лопух,

2011). Кадмий не причисляют к необходимым для водорослей микроэлементам, хотя существует предположение, что наряду с цинком и кобальтом он играет роль в ассимиляции углерода (Markham et al., 1980). По экспериментальным сведениям, кадмий ингибирует рост водорослевых культур в концентрациях от 0,5 мкг/л (Huiling et al., 2012). Также известно, что макроводоросли способны аккумулировать кадмий (Markham et al., 1980). По нашим данным, в одной из карлутских проб (Кар 2/2) было зафиксировано превышение вышеуказанного порога токсичности.

Cu: 1,15–51,21 мкг/дм³. ПДК_{х.-п.} – 1000 мкг/дм³, ПДК_{рыб.} – 1 мкг/дм³.

Общемировые средние значения содержания элемента в поверхностных водах: от 5900 мкг/дм³ в 1970-х годах до 119900 мкг/дм³ в 2010-х годах (Qiaoqiao et al., 2020). Концентрация в незагрязнённых пресных водах от 2 до 30 мкг/дм³ (Логинова, Лопух, 2011).

Медь является необходимым элементом в системах фотосинтеза и дыхания, однако при высоких концентрациях Cu становится одним из самых токсичных для водорослей металлом: в эксперименте рост зелёных водорослей прекращался при концентрациях от 2000 мкг/л (Huiling et al., 2012). Токсическое воздействие этого элемента в основном связано с конкурентным ингибированием других металл-зависимых систем в живых клетках (Brand et al., 1986).

Ni: <5,0–8,97 мкг/дм³. ПДК_{х.-п.} – 100 мкг/дм³, ПДК_{рыб.} – 10 мкг/дм³.

Общемировые средние значения содержания элемента в поверхностных водах: от 1400 мкг/дм³ в 1970-х годах до 80900 мкг/дм³ в 2010-х годах (Qiaoqiao et al., 2020). Концентрация в незагрязнённых речных водах от 0,8 до 10 мкг/дм³ (Логинова, Лопух, 2011). В подземных водах содержание никеля тысячекратно возрастает. Этот переходный металл входит в состав отдельных ферментов, основными из которых являются Ni-зависимые уреаза и супероксиддисмутаза (Frausto da Silva, Williams, 2001; Ahmad, Ashraf, 2011; Broadley et al., 2012; Polacco et al., 2012; Kleiven, 2014). Также никель способен ингибировать внутриклеточные биохимические процессы с участием марганца, поскольку оба этих элемента имеют сходную структуру (Frausto da Silva, Williams, 2001). Есть сведения, что при высоких концентрациях Ni подавляет рост диатомовых водорослей (Fezy et al., 1979).

Zn: <5,0–54,43 мкг/дм³. ПДК_{х.-п.} – 5000 мкг/дм³, ПДК_{рыб.} – 10 мкг/дм³.

Общемировые средние значения содержания элемента в поверхностных водах: от 52200 мкг/дм³ в 1970-х годах до 1180000 мкг/дм³ в 2010-х годах (Qiaoqiao et al., 2020). Содержание элемента в речных водах от 3 до 120 мкг/л (Логинова, Лопух, 2011).

Цинк является структурным компонентом ряда дегидрогеназ (глутаматдегидрогеназы, алкогольдегидрогеназы и другие), фосфолипазы, щелочной фосфатазы, Cu/Zn-зависимой супероксиддисмутазы, а также рибулозо-1,5-бисфосфаткарбоксилазы и карбоангидразы, участвующих в процессе фотосинтеза (Brown et al., 1993; Krämer, Clemens, 2005; Srivastava, Gupta, 1996). Кроме того, выявлена существенная роль цинка в транскрипции и синтезе нуклеиновых кислот (Krämer, Clemens, 2005; Xu et al., 2012), поскольку он входит в состав ферментов гистондиацетазы, ДНК- и РНК-полимераз (Krämer, Clemens, 2005), а также принимает регулятивное участие в трансляции (Krämer, Clemens, 2005; Sharma et al., 1982).

Цинк является наиболее распространённым в ионной форме микроэлементом цитоплазмы аэробных организмов (Frausto da Silva, Williams, 2001), однако при высоких концентрациях он может быть токсичен для клеток водорослей (Manahan, 2010).

Fe_{общ.}: 74,23–1523,54 мкг/дм³. ПДК_{х.-п.} – 300 мкг/дм³, ПДК_{рыб.} – 100 мкг/дм³.

Общемировые средние значения содержания элемента в поверхностных водах: от 967100 мкг/дм³ в 1970-х годах до 1479500 мкг/дм³ в 2010-х годах (Qiaoqiao et al., 2020). Среднее содержание элемента в речной воде от 3 до 1560 мкг/дм³ (Никаноров, 2001). В подземных водах содержание элемента может быть в сотни раз выше. Потребность в железе для дыхания и роста у клетки морской водоросли составляет примерно 10 ммоль на 1 моль С (5 % от массы углерода), для азотфиксирующих цианобактерий – 200 ммоль на 1 моль С (93 % от массы углерода) (Morel et al., 1991).

В исследованных пробах концентрации железа довольно высоки. Этот элемент не является лимитирующим для развития водной флоры на данной территории. Повышенное

содержание железа в зимний период характерно для придонных слоёв воды высокотрофных водоёмов, однако в рассмотренном случае концентрации были выше в водотоках. Часто концентрация железа убывала вниз по течению, указывая на малый вклад донных отложений как биогенного источника элемента, а также на частичное депонирование в водотоках в виде гидроксида или в биомассе.

Mn: 5,59–137,21 мкг/дм³. ПДК_{х.-п.} – 100 мкг/дм³, ПДК_{рыб.} – 10 мкг/дм³.

Общемировые средние значения содержания элемента в поверхностных водах: от 444800 мкг/дм³ в 1970-х годах до 518000 мкг/дм³ в 2010-х годах (Qiaoqiao et al., 2020). Содержание элемента в речной воде от 1 до 160 мкг/дм³ (Логинова, Лопух, 2011).

Марганец встречается в водной среде в растворённой и коллоидной формах. Элемент способен накапливаться в донных отложениях и биомассе (Švec et al., 2016). В клетках водорослей входит в состав фотосистемы II, а также ряда белков, в том числе и ферментов (Frausto da Silva, Williams, 2001; Kleiven, 2014). Кроме того, отмечено влияние данного микроэлемента на рост водорослей (Rousch, Sommerfeld, 1999; Liu et al., 2018).

Cr: <2,5–7,02 мкг/дм³. ПДК_{х.-п.} – 50 мкг/дм³, ПДК_{рыб.} – 90 мкг/дм³.

Общемировые средние значения содержания элемента в поверхностных водах: от 4900 мкг/дм³ в 1980-х годах до 138400 мкг/дм³ в 2010-х годах (Qiaoqiao et al., 2020). Содержание элемента в незагрязнённых речных водах от 0,1 до 10 мкг/л (Логинова, Лопух, 2011). Хром не является необходимым элементом в метаболизме какой-либо водорослевой группы и может ингибировать клеточное деление в концентрациях от 1000 мкг/дм³ (Wilson et al., 2019).

V: <1,0–2,180 мкг/дм³. ПДК_{х.-п.} – 100 мкг/дм³, ПДК_{рыб.} – 1 мкг/дм³.

Среднее содержание элемента в речной воде от 0,2 до 40 мкг/дм³ (Грушко, 1979). Известно об участии ванадия в процессе синтеза хлорофилла у зелёных водорослей. Сведения о его способности заменять молибден в нитрогеназе цианобактерий не нашли подтверждений. При концентрациях от 100 мкг/дм³ ванадий оказывает ингибирующий эффект на рост водорослей, влияя на ядерный аппарат. Высокое содержание ванадия приводит у зелёных водорослей к утолщению клеточных стенок и повышенной вакуолизации. Дефицит ванадия может проявляться в избыточном накоплении крахмала (Lee et al., 1979).

Полученные нами данные указывают на постоянное присутствие ванадия в нижнем течении Карлутки, а также на падение концентрации элемента в других точках с началом снеготаяния.

Mo: <1,0–7,342 мкг/дм³. ПДК_{х.-п.} – 250 мкг/дм³, ПДК_{рыб.} – 1 мкг/дм³.

Диапазон концентраций элемента в речных водах от 2,1 до 10,6 мкг/дм³ (Логинова, Лопух, 2011). Молибден входит в состав ряда растительных ферментов (молибдоэнзимов) и нитрогеназы цианобактерий. Для водорослей он значительно менее токсичен, чем другие ТМ – до концентраций в десятки мкг/дм³ (Molybdenum..., 2021). Полученные данные указывают на стабильное присутствие элемента в определённых точках независимо от таяния. На участках с низким содержанием ионов металла Мо способен стать лимитирующим фактором в развитии водорослей, однако из-за высокой мобильности элемента большая часть дефицитного ресурса может быть связана в биомассе.

Как видно из таблицы 3, пробы, отобранные в нижнем течении Карлутки, содержали самые высокие концентрации ТМ в течение всего периода наблюдений. С нижним течением реки Позимь и её притоком Карлуткой была связана наибольшая часть максимальных концентраций как ТМ, так и БЭ. Вероятно, это связано с прохождением этих рек в нижнем течении по территориям с высоким антропогенным воздействием.

Сравнение с данными по Ижевскому водохранилищу за 2011 год показывает снижение содержания нитратов, фосфатов, железа и марганца, а также повышение содержания меди (табл. 4). Поиск причин этих изменений требует дополнительных комплексных исследований.

В изученных пробах было выявлено 56 видов водорослей из 41 рода (табл. 5), однако некоторые были идентифицированы только по неорганическим остаткам. Наибольшим разнообразием представлен класс Bacillariophyceae (40 видов), менее разнообразны

Таблица 3

Распределение максимумов содержания тяжёлых металлов и ионов биогенных элементов

Концентрация	Точка отбора и номер пробы								
	Карлутка					Позимь		Сельчка 3	Медведево 2
	1	1/2	2	2/2	2/3	1	1/2		
max		Pb	NO ₃ ⁻ , Mn	Cd, Ni, Cr, V, Mo	Zn	Fe, Cu	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻
submax	Fe		Cd	Pb, Zn, Mn	Cu, Cr, Ni	V, Mo			
s.submax	NH ₄ ⁺		Fe	NO ₃ ⁻	Cd, V, Mo	Pb, Ni	Cu, Zn		NO ₂ ⁻ , Cr

Таблица 4

Сравнительная таблица концентраций некоторых элементов в воде Ижевского водохранилища в 2011 (Котегов и др., 2013) и 2023 годах

БЭ и ТМ	Февраль 2011 года		Февраль 2023 года	
	D	M	D	M
NO ₃ ⁻ , мг/л	0,37–38,60	6,57	1,2–20,00	5,87
PO ₄ ³⁻ , мг/л	0,05–0,71	0,16	<0,01–0,05	0,02
Fe, мкг/л	<100–570	393	74,23–513,08	259,77
Mn, мкг/л	<10–95,00	36,80	11,37–72,66	25,20
Cu, мкг/л	1,19–3,40	2,20	1,51–7,53	3,85

Примечание к таблице. D – диапазон значений; M – среднее значение.

представители класса Cyanophyceae из отдела Cyanobacteria (7 видов), классов Trebouxiophyceae и Chlorophyceae отдела Chlorophyta (6 видов); классы Zygnematomphyceae, Xanthophyceae и Chrysophyceae представлены одним видом каждый.

В реке Карлутка водорослевая флора была представлена единичными мелкими диатомовыми. В пробах из пруда на реке Сельчка наблюдалось большое разнообразие створок крупных бентосных диатомовых; в точке С1 – заметное количество цианобактерий; в пробе из точки С3 *Oocystis* быстро увеличил численность наряду с *Closterium*. Свежие пробы из точек В1-В4 содержали большое количество минерализованных ножек *Anthophysa*; диатомовые наблюдались единично; в пробах развились нити *Cladophora*. В пробах из Ижевского водохранилища были многочисленны створки *Ulnaria*, другие диатомовые встречались единично; в пробе из точки И.п.1 в массе развилась *Tribonema vulgare*. В Иже ниже водохранилища отмечалось значительное количество планктона и перифитона, сложенных преимущественно Tabellariaceae и Ulnariaceae; в пробах развился *Nostoc*. Ниже по течению, в точках М1-М2, диатомовые были также многочисленны, со значительной долей вынесенных в планктон бентосных форм; в свежих пробах присутствовали гормогонии цианобактерий; в пробе из точки М1 массово развилась *Melosira varians*.

При переносе альгологических проб в лабораторные условия и соответствующей смене светового и температурного режимов цианобактерии, даже при заметном начальном присутствии, не переходили к массовому развитию. Также очень умеренным был рост зелёных водорослей, в то время как диатомовые или десмидиевые водоросли быстро увеличивали численность и массу. Преобладание диатомовых в холодное время года типично для водотоков умеренных широт, и в наших пробах они продолжали доминировать при смене

Таблица 5

Таксономический состав водорослей, обнаруженных в пробах воды из водных объектов бассейна реки Иж

Водный объект	Таксономический состав
Карлутка	<p>C: <i>Oscillatoria</i> sp. <i>Phormidium</i> sp. B: <i>Pinnularia septentrionalis</i> Krammer, 2000 <i>Pinnularia flexuosa</i> Cleve, 1895 <i>Surirella librile</i> (Ehrenberg) Ehrenberg, 1845 <i>Navicula</i> sp.</p>
Сельчка	<p>C: <i>Chroococcus</i> sp. <i>Isocystis</i> sp. <i>Merismopedia</i> sp. <i>Oscillatoria</i> sp. B: <i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing, 1844 <i>Anomoeoneis sphaerophora</i> Pfitzer, 1871 <i>Aulacoseira</i> sp. <i>Cocconeis</i> sp. <i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing, 1844 <i>Cymbella amplificata</i> Krammer, 2002 <i>Gyrosigma attenuatum</i> (Kützing) Rabenhorst, 1853 <i>Gyrosigma</i> sp. <i>Iconella biseriata</i> (Brébisson) Ruck & Nakov, 2016 <i>Melosira varians</i> C. Agardh, 1827 <i>Navicula</i> sp. <i>Nitzschia angustata</i> (W. Smith) Grunow, 1880 <i>Nitzschia sygmoidea</i> (Nitzsch) W. Smith, 1853 <i>Rhoicosphenia curvata</i> (Kützing) Grunow, 1860 <i>Surirella librile</i> (Ehrenberg) Ehrenberg, 1845 <i>Surirella peisonis</i> Pantocsek, 1902 <i>Surirella robusta</i> Ehrenberg, 1841 <i>Ulnaria biceps</i> (Kützing) Compère, 2001 <i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère, 2001 Chl: <i>Coelastrum</i> sp. <i>*Oocystis</i> sp. <i>Pediastrum duplex</i> Meyen, 1829 <i>Stauridium tetras</i> (Ehrenberg) E. Hegewald, 2005 Z: <i>*Closterium ehrenbergii</i> Meneghini ex Ralfs, 1848</p>
Воложка	<p>Cr: <i>Anthophysa vegetans</i> (O.F. Müller) F. Stein, 1878 B: <i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing, 1844 <i>Cocconeis</i> sp. <i>Gyrosigma attenuatum</i> (Kützing) Rabenhorst, 1853 <i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing, 1849 <i>Navicula</i> sp. Chl: <i>Cladophora</i> sp.</p>
Иж	<p>C: <i>Nostoc</i> sp. B: <i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing, 1844 <i>Cymatopleura apiculata</i> W. Smith, 1853 <i>Cymbella hantzschiana</i> Krammer, 2002 <i>Diatoma vulgaris</i> Bory, 1824 (лентовидные колонии крупных клеток, зигзагообразные – мелких) <i>Eunotia</i> sp. <i>Gomphoneis</i> sp. <i>Melosira varians</i> C. Agardh, 1827 <i>Navicula reinhardtii</i> (Grunow) Grunow, 1880</p>

	<i>Ulnaria acus</i> (Kützing) Aboal, 2003 <i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère, 2001 <i>Chl: Actinastrum hantzschii</i> Lagerheim, 1882
Ижевское водохранилище	X: <i>Tribonema vulgare</i> Pascher, 1925 B: <i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère, 2001 <i>Nitzschia</i> cnf. <i>rectiformis</i> Hustedt, 1943 <i>Cymatopleura apiculata</i> W. Smith, 1853 <i>Anomoeoneis sphaerophora</i> Pfitzer, 1871 <i>Pinnularia perspicua</i> Krammer, 2000
Подборенка	X: <i>Tribonema vulgare</i> Pascher, 1925 B: <i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère, 2001 <i>Nitzschia</i> cnf. <i>rectiformis</i> Hustedt, 1943
Канал и Малиновский пруд	C: <i>Oscillatoria</i> sp. B: <i>Nitzschia</i> sp. <i>Navicula</i> sp. <i>Chl: Cladophora</i> sp.
Позимь	B: <i>Nitzschia linearis</i> W. Smith, 1853 <i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère, 2001 <i>Encyonema</i> sp.
Медведево	C: <i>Lyngbya</i> sp. <i>Oscillatoria</i> sp. B: <i>Meridion circulare</i> (Greville) C. Agardh, 1831 * <i>Melosira varians</i> C. Agardh, 1827 <i>Sellaphora</i> sp. <i>Frustulia saxonica</i> Rabenhorst, 1853 <i>Navicula radiosa</i> Kützing, 1844 <i>Diatoma vulgare</i> Bory, 1824 <i>Pinnularia</i> sp. <i>Cymbella hantzschiana</i> Krammer, 2002 <i>Nitzschia regula</i> Hustedt, 1922 <i>Nitzschia linearis</i> W. Smith, 1853 <i>Nitzschia</i> cnf. <i>rectiformis</i> Hustedt, 1943 <i>Fragilaria vaucheriae</i> (Kützing) J. B. Petersen, 1938

Примечание к таблице. C – Cyanobacteria, Chl – Chlorophyta, B – Bacillariophyceae, Z – Zygnematomphyceae, Cr – Chrysophyceae, X – Xanthophyceae; * – активно развивавшиеся виды. Жирным шрифтом отмечены виды, присутствовавшие в пробах в живом состоянии на протяжении периода наблюдения. Карлутка – пробы из точек K1 и K2; Сельчка – из точек C1, C2, C3, C4; Воложка – из точек B1, B2, B3, B4; Иж – из точек Иж1, Иж2, Иж3; Ижевское водохранилище – из точек И.п.1, И.п.2, И.п.3; Подборенка – из точек П1 и П2; Малиновский пруд – из точки Мал.п.; Позимь – из точки Поз; Медведево – из точек М1 и М2.

физических условий, уступив только в одном случае (в пробе «Сельчка 3») десмидиевым. Это заставляет предположить, что неоднократно наблюдавшееся нами в летние месяцы явление «цветения воды» в водоёмах Ижевска, связанное с быстрым ростом цианобактерий, обусловлено в большей степени сменой химических, а не физических характеристик среды. Состав воды в начале вегетационного периода и конкуренция со стороны других групп водорослей не благоприятствуют их массовому росту даже при повышении температуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ проб на содержание БЭ и ТМ показал значительный диапазон концентраций: по 5 показателям из 15 (нитратам, аммонии, железу, марганцу и свинцу) было зафиксировано незначительное превышение ПДК для хозяйственно-питьевого водопользования как минимум в одной пробе. Соотношение N/P варьировало в пределах от 21 до 10000. Все рассмотренные водные объекты на момент исследования характеризовались фосфорным лимитированием. Трофический статус большинства из них был оценен как олиготрофный, с исключением для точек М1 и М2, находящихся вблизи городских очистных сооружений (мезотрофный и эвтрофный

соответственно). Наибольшие концентрации БЭ и ТМ фиксировались чаще всего в Карлутке (максимальные значения по 9 показателям).

В пробах были обнаружены 56 видов водорослей из 7 классов 4 отделов. Наибольшее разнообразие отмечалось в пробах из Сельчкского пруда и Ижа к югу от города, в том числе за счёт створок бентосных диатомовых. Наиболее развитый фитопланктон был отмечен в реке Иж в городской черте.

В свежих пробах диатомовые водоросли значительно превосходили другие группы по видовому разнообразию и массе. При развитии в условиях лаборатории в некоторых пробах наблюдался быстрый рост диатомовых или десмидиевых водорослей. Кроме того, умеренный рост показали зелёные водоросли, а цианобактерии, напротив, не увеличили массу. Исходя из этого, можно предположить, что эпизодическое доминирование представителей Cyanobacteria в летнее время в открытых водоёмах связано с изменением химического состава природной воды.

Данные для временного отрезка с конца подлёдного периода до пика половодья дают основу для наблюдения сезонной экологической динамики вод бассейна реки на рассматриваемой территории.

Благодарности. Авторы благодарят Н. И. Науменко, А. П. Мейерса-Цемашевича, Д. Е. Нигер, Е. Д. Нигера, И. М. Бляхеровича, В. И. Киссера, В. Ю. Перминова, В. В. Туганаева, А. С. Тюрикову и М. С. Юнусова за содействие и ценные комментарии при выполнении данной работы.

Список литературы

ГОСТ 18309-2014 Вода. Методы определения фосфорсодержащих веществ. – М.: Стандартинформ, 2019. – 24 с.

Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Удмуртской республики в 2021 году» [Электронное издание] / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Удмуртской Республики; АУ «Управление охраны окружающей среды и природопользования Минприроды Удмуртской Республики». – Ижевск, 2022. – 279 с. – Режим доступа: <https://www.minpriroda-udm.ru/images/1305/gosd2021.pdf> (просмотрено: 10.07.2023)

Грушко Я. М. Вредные неорганические соединения в промышленных сточных водах: Справочник. – Л.: Химия, 1979. – 160 с.

Иванова Н. А., Шарипова Л. А. Состояние фитопланктона Ижевского пруда в районе водозабора МУП города Ижевска «Ижводоканал» в 2002-2005 годах // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. – 2006. – № 10. – С. 17–24.

Котегов Б. Г., Аксенова Н. П., Захаров В. Ю., Холмогорова Н. В., Фефилова К. К. Биологические и химические эффекты антропогенного эвтрофирования Ижевского водохранилища: Монография / [Ред. Б. Г. Котегова]. – Ижевск: Удмуртский университет, 2013. – 177 с.

Куликовский М. С., Глушенко А. М., Генкал С. И., Кузнецова И. В. Определитель диатомовых водорослей России. – Ярославль: Филигрань, 2016. – 804 с.

Логина Е. В., Лопух П. С. Гидроэкология: курс лекций. – Минск: БГУ, 2011. – 300 с.

Никаноров А. М. Гидрохимия. – СПб: Гидрометеиздат, 2001. – 449 с.

Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Приложение к приказу Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (с изменениями от 12 октября 2018 г., 10 марта 2020 г.) [Электронное ресурс]. – Информационно-правовой портал Гарант.ру. – 2020. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/71586774/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/> (просмотрено 14.10.2023).

ПНД Ф 14.1:2.1-95 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации ионов аммония в природных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Несслера. – Москва, 2017. – 22 с.

ПНД Ф 14.1:2.4.3-95 Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации нитрит-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Грисса. – Москва, 2011. – 22 с.

ПНД Ф 14.1:2.4.4-95 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации нитрат-ионов в природных и сточных водах фотометрическим методом с салициловой кислотой. – Москва, 2011. – 18 с.

ПНД Ф 14.1:2.159-2000 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации сульфат-ионов в пробах природных и сточных вод турбидиметрическим методом. – Москва, 2005. – 14 с.

ПНД Ф 14.1:2.253-09 (М 01-46-2013). Методика измерений массовой концентрации алюминия, бария, бериллия, ванадия, железа, кадмия, кобальта, лития, марганца, меди, молибдена, мышьяка, никеля, свинца, селена, серебра, стронция, титана, хрома, цинка в пробах природных и сточных вод атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией с использованием атомно-абсорбционного спектрометра модификаций МГА-915, МГА-915М, МГА-915МД. – Москва, 2013. – 36 с.

РД 52.24.382-2019 Массовая концентрация фосфатного фосфора в водах. Методика измерений фотометрическим методом. – Ростов-на-Дону, 2019. – 31 с.

СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. Нормы качества питьевой воды. – Москва, 2002. – 103 с.

Царенко П. М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР. – Киев: Наукова думка, 1990. – 208 с.

Ahmad M. S. A., Ashraf M. Essential roles and hazardous effects of nickel in plants // *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. Edited by D. M. Whitacre. – New York: Springer, 2011. – P. 125–167. DOI: 10.1007/978-1-4614-0668-6_6.

AlgaeBase [Electronic resource]. – 2023. – Available at: <https://www.algaebase.org/> (date of access: 10.07.2023)

Brand L. E., Sunda W. G., Guillard R. R. L. Reduction of marine phytoplankton reproduction rates by copper and cadmium // *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. – 1986. – Vol. 96, issue 3. – P. 225–250. DOI: 10.1016/0022-0981(86)90205-4.

Broadley M., Brown P., Cakmak I., Rengel Z., Zhao F. Function of nutrients: micronutrients // *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Edited by P. Marschner. London: Academic, 2012. – P. 191–248. DOI: 10.1016/B978-0-12-384905-2.00007-8.

Brown P. N., Cakmak I., Zhang O. Form and function of zinc in plants. Chapter 7 // *Zinc in Soils and Plants: Proceedings of the International Symposium on "Zinc in Soils and Plants" Held at The University of Western Australia, 27-28 September, 1993*. – Edited by A. D. Robson. Dordrecht–Boston–London: Kluwer Academic Publishers, 1993. – P. 90–106. DOI: 10.1007/978-94-011-0878-2_7.

Bulgakov N. G., Levich A. P. The nitrogen: phosphorus ratio as a factor regulating phytoplankton community structure // *Archiv für Hydrobiologie*. – 1999. – Vol. 146, N 1. – P. 3–22. DOI: 10.1127/archiv-hydrobiol/146/1999/3.

Chorus I., Spijkerman E. What Colin Reynolds could tell us about nutrient limitation, N:P ratios and eutrophication control // *Hydrobiologia*. – 2021. – Vol. 848, N 12. – P. 95–111. DOI: 10.1007/s10750-020-04377-w.

Correlli D. L. Phosphorus: A Rate Limiting Nutrient in Surface Waters // *Poultry Science*. – 1999. – Vol. 78, issue 5. – P. 674–682. DOI: 10.1093/ps/78.5.674.

Ekhholm P. N:P ratios in estimating nutrient limitation in aquatic [Electronic resource] // *Mitigation options for nutrient reduction in surface water and groundwaters*. – Helsingfors: Finnish Environment Institute, 2008. – P. 11–14. – Available at: https://www.cost869.alterra.nl/fs/fs_npratio.pdf (date of access: 11.07.2023)

Ferrari M., Marieschi M., Cozza R., Torelli A. Role of Sulfate Transporters in Chromium Tolerance in *Scenedesmus acutus* M. (Sphaeropleales) // *Plants*. – 2022. – Vol. 11, Issue 2. – Art. 223. DOI: 10.3390/plants11020223.

Fezy J. S., David F., Spencer D. F., Greene R. W. The effect of nickel on the growth of the freshwater diatom *Navicula pelliculosa* // *Environmental pollution*. – 1979. – Vol. 20, issue 2. – P. 131–137. DOI: 10.1016/0013-9327(79)90065-X.

Frausto da Silva J. J., Williams R. J. R. The biological chemistry of the elements: The Inorganic Chemistry of Life. – Oxford: Oxford University Press, 2001. – 584 p.

Geider J. R., La Roche J. Redfield revisited: variability of C:N:P in marine microalgae and its biochemical basis // *European Journal of Phycology*. – 2002. – Vol. 37, issue 1. – P. 1–17. DOI: 10.1017/S0967026201003456.

Giordano M., Norici A., Ratti S., Raven J. Role of sulfur for algae: acquisition, metabolism, ecology and evolution // *Sulfur metabolism in phototrophic organisms. Advances in photosynthesis and respiration*. – Vol. 27. – Dordrecht: Springer, 2008. – P. 397–415. DOI: 10.1007/978-1-4020-6863-8_20.

Huiling Ouyang, Xiang-Zhen Kong, Wei He, Ning Qin, Q. S. He, Yan Wang, Rong Wang, F. L. Xu. Effects of five heavy metals at sub-lethal concentrations on the growth and photosynthesis of *Chlorella vulgaris* // *Chinese science bulletin*. – 2012. – Vol. 57, issue 25. – P. 3363–3370. DOI: 10.1007/s11434-012-5366-x.

Hushchyna K., Nguyen-Quang T. Using the modified Redfield ratio to estimate harmful algal blooms // *Environmental problems*. – 2017. – Vol. 2, N 2. – P. 101–108. Corpus ID: 219707962.

Kleiven W. Elemental Composition in various Marine Brown, Green and Red Macroalgae with respect to Season and Tissue-Age. – Trondheim: Norwegian University of Science and Technology, Department of Biology, 2014. – 102 p.

Krämer U., Clemens S. Functions and homeostasis of zinc, copper and nickel in plants // *Molecular Biology of Metal Homeostasis and Detoxification: From Microbes to Man*. – Berlin: Springer-Verlag, 2005. – P. 215–271. DOI: 10.1007/4735_96.

Lee K., Nalewajko C., Jack T. R. Effects of vanadium on freshwater algae // *Fisheries and marine service technical report*. – 1979. – N 862. – P. 297–310.

Liang Z., Soranno P. A., Wagner T. The role of phosphorus and nitrogen on chlorophyll a: evidence from hundreds of lakes // *Water research*. – 2020. – Vol. 185. – P. 1–39. DOI: 10.1016/j.watres.2020.116236.

Liu J., Tan K., He L., Qiu Y., Tan W., Guo Y., Wang Zh., Sun W. Effect of limitation of iron and manganese on microalgae growth in fresh water // *Microbiology Society*. – 2018. – Vol. 164, issue 12. – P. 1514–1521. DOI: 10.1099/mic.0.000735.

Manahan S. E. *Environmental chemistry*. Ninth Edition. – Boca Raton, Florida: CRC Press, 2010. – 786 p. ISBN: 978-1-4200-5920-5

Markham J. W., Kremer B. P., Sperling K. R. Effect of cadmium on *Laminaria saccharina* in culture // *Marine Ecology Progress Series*. – 1980. – Vol. 3, N 1. – P. 31–39.

Molybdenum Water Quality Guidelines for the Protection of Freshwater Aquatic Life, Livestock, Wildlife and Irrigation. British Columbia Ministry of Environment and Climate Change Strategy 2021. Water quality guideline series, WGJ-07. – Victoria, British Columbia, 2021. – 67 p. ISBN: 978-1-988314-15-0

Morel F., Rueter J., Price N. Iron nutrition of phytoplankton and its possible importance in the ecology of ocean regions with high nutrient and low biomass // *Oceanography*. – 1991. – Vol. 4, N 2. – P. 56–61. DOI: 10.5670/OCEANOLOG.1991.03.

Polacco J. C., Mazzafera P., Tezotto T. Opinion: nickel and urease in plants: still many knowledge gaps // *Plant Science*. – 2013. – Vol. 199–200. – P. 79–90. – DOI: 10.1016/j.plantsci.2012.10.010.

Qiaoqiao Zhou, Nan Yang, Youzhi Li, Bo Ren, Xiaohui Ding, Hualin Bian, Xin Yao. Total concentrations and sources of heavy metal pollution in global river and lake water bodies from 1972 to 2017 // *Global Ecology and Conservation*. – 2020. – Vol. 22. – Art. E00925. – P. 1–11. – Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351989419309357>. DOI: 10.1016/j.gecco.2020.e00925.

Rosenberg B. D., Schroth A. W. Coupling of reactive riverine phosphorus and iron species during hot transport moments: impacts of land cover and seasonality // *Biogeochemistry*. – 2017. – Vol. 132, № 1–2. – P. 103–122. DOI: 10.1007/s10533-016-0290-9.

Rousch J. M., Sommerfeld M. R. Effect of manganese and nickel on growth of selected algae in pH buffered medium // *Water Research*. – 1999. – Vol. 33, Issue 10. – P. 2448–2454. DOI: 10.1016/S0043-1354(98)00474-6.

Sharma C. P., Sharma P. N., Bisht S. S., Nautiyal B. D. Zinc deficiency induced changes in cabbage // *Plant Nutrition: Proceedings of the Ninth International Plant Nutrition Colloquium*. – Warwick: Farnham Royal Bucks, 1982. – P. 601–606. DOI: 10.1007/978-94-011-0878-2_7.

Srivastava P. C., Gupta U. C. *Trace Elements in Crop Production*. – Lebanon: Science Publishers, 1996. – 356 p.

Švec P., Kováčik J., Hedbavný J., Babula P., Rotková G., Klejduš B. Impact of Anions, Cations, and pH on Manganese Accumulation and Toxicity in the Green Alga *Scenedesmus quadricauda* // *Water, Air, & Soil Pollution*. – 2016. – Vol. 227. – Art. 161. DOI: 10.1007/s11270-016-2859-2.

Toda K., Obolkin V., Ohira S.-I., Saek K. Abundant production of dimethylsulfoniopropionate as a cryoprotectant by freshwater phytoplankton in ice-covered Lake Baikal // *Research Square*. – 2023. – License CC BY 4.0. – P. 2–15. – Available at: <https://assets.researchsquare.com/files/rs-2468095/v1/c373d2d7d0a251a8198409af.pdf?c=1675205333>. DOI: 10.21203/rs.3.rs-2468095/v1.

Wilson W., Zhang Q., Rickaby R. E. M. Susceptibility of algae to Cr toxicity reveals contrasting metal management strategies // *Limnology and oceanography*. – 2019. – Vol. 64, issue 5. – P. 2271–2282. DOI: 10.1002/lno.11183.

Xu Y., Shi D., Aristilde L., Morel F. M. M. The effect of pH on the uptake of zinc and cadmium in marine phytoplankton: Possible role of weak complexes // *Limnology and Oceanography*. – 2012. – Vol. 57, issue 1. – P. 293–304. DOI: 10.4319/lno.2012.57.1.0293.

Xuwei D., Linwei R., Ren R., Min T., Jing Zh., Lantian W., Yunzhi Y., Xinli W., Xi Y., Ping X. Phosphorus accelerates the sulfur cycle by promoting the release of malodorous volatile organic sulfur compounds from *Mycrocystis* in freshwater lakes // *Science of the Total Environment*. – 2022. – Vol. 845, issue 4. – Art. 157280. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.157280.

Zakeri H. A., Abu Bakar L. Copper-, Lead- and Mercury-Induced Changes in Maximum Quantum Yield, Chlorophyll A Content and Relative Growth of Three Malaysian Green Macroalgae // *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*. – 2013. – Vol. 9, N 1. – P. 16–21.

Goskova S. M., Altyntsev A. V., Dedyukhin A. S., Smirnov K. D. Hydrochemical and algal composition of some water bodies in the basin of the Izh river during the winter-early spring period in 2023 // *Ekosistemy*. 2023. Iss. 36. P. 187–202.

Some hydrochemical and ecological criteria of water bodies in the basin of Izh river (the Udmurt Republic, Russia) are considered in this article. It provides data on concentrations of dissolved nitrogen (the sum of nitrate, nitrite and ammonium nitrogen), phosphorus of orthophosphate, sulphur and 10 heavy metals (lead, cadmium, copper, nickel, zinc, iron, manganese, chromium, vanadium and molybdenum) in the water of the Izh river and its tributaries and reservoirs in the period between ice-cover state and spring flood. The data are compared with global average values for fresh water. Concentrations exceeding standards accepted for water consumption and maximum concentrations are revealed. The criterion of nitrogen/phosphorus ratio and its influence on the taxonomic composition of algal flora, trophic status of the studied water bodies during the winter-early spring period and the limiting chemical factors for algal development are discussed. The paper gives comparison of data for five indicators (water content of nitrates, orthophosphates, iron, manganese and copper) for the Izhevsk reservoir for 2011 and 2023. Data on the content of nutrient ions and heavy metals in samples is accompanied by information about functions of chemical elements in metabolism of algal cells and about their toxicity. A taxonomic list of algae found in water samples including 56 species from 41 genera, 7 classes, 4 divisions is published. Moreover, their development in laboratory conditions and the influence of chemical composition of water on the formation of algoflora are considered.

Key words: biogenic elements, heavy metals, algae, Izh river, Izhevsk Reservoir, Izhevsk.

*Поступила в редакцию 11.08.23
Принята к печати 18.10.23*

Декоративные древесные растения города Саки и перспективы их использования в озеленении

Потапенко И. Л.¹, Клименко Н. И.² Летухова В. Ю.¹

¹ Карадагская научная станция им. Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН
Феодосия, Республика Крым, Россия
ira_rotapenko@mail.ru, letukhova@gmail.com

² Крымский литературно-художественный мемориальный музей-заповедник
Ялта, Республика Крым, Россия
klymenko.gnbs@mail.ru

Изучено современное состояние зеленых насаждений города Саки (западный Крым), где было обследовано 11 улиц и 6 скверов. Определен состав видов, проанализирована их таксономическая структура и ботанико-географическое происхождение. Дендрофлора Сак включает 85 видов и 13 культиваров, относящихся к 63 родам из 33 семейств. Ведущая роль в таксономической структуре принадлежит семействам: Rosaceae (8 родов, 15 видов), Cupressaceae (5 родов, 8 видов) и Fabaceae (7 родов, 7 видов). Около трети (28,2 %) видов широко распространены по территориям нескольких флористических областей. Далее следуют виды Средиземноморской (16,5 %), Атлантическо-Североамериканской (14,1 %) и Восточноазиатской (12,9 %) флористических областей. Ведущее место в биоморфологической структуре занимают листопадные лиственные деревья (48,2 %) и кустарники (23,5 %), далее – хвойные деревья (15,3 %). Листопадные деревья превосходят все остальные биоморфы как по видовому разнообразию, так и по численности. Широко распространены такие деревья, как *Platanus × acerifolia*, *P. orientalis*, *Robinia pseudoacacia*, *Styphnolobium japonicum*, *Ulmus laevis* и такие кустарники, как *Philadelphus coronaries* и *Spiraea × vanhouttei*. Из общего числа хвойных растений только *Juniperus virginiana*, *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* и *Platycladus orientalis* в большом количестве произрастают как в скверах, так и на улицах города. Доля вечнозеленых растений невелика: деревья отсутствуют, кустарников – 3 вида (*Buxus sempervirens*, *Euonymus fortunei*, *Ilex aquifolium*), лианы – 1 вид (*Hedera helix*), юкка – 1 вид (*Yucca filamentosa*). В целом, в уличном озеленении используется 66, а в скверах 73 вида и культивара древесных растений, что составляет 67,3 и 74,5 % соответственно от их общего количества в зеленых насаждениях города. На каждой из обследованных улиц встречается от 14 до 40 видов деревьев и кустарников. Рекомендуется включить в зеленые насаждения города 32 вида и культивара древесных растений: 16 – хвойные и листопадные деревья, 13 – кустарники и 3 – лианы для пополнения ассортимента.

Ключевые слова: декоративные древесные растения, озеленение, Саки, западный Крым.

ВВЕДЕНИЕ

Зеленые насаждения являются неотъемлемым компонентом улучшения качества городской среды. Наличие и состояние зеленых насаждений – значимая экологическая и эстетическая составляющая современных населенных пунктов, ведущая роль в которой принадлежит декоративным деревьям и кустарникам. Сведения о древесных растениях города Саки малочисленны и получены давно (Цырина, 1928; Троцкий, 1953; Волошин, 1960; Григорьев, 1971; 1974). В современной литературе есть сведения о состоянии Сакского дендрария, где выявлено 78 видов, 4 гибрида и 9 декоративных форм древесных растений (Алексейчук, Потемкина, 2016).

Цель настоящего исследования – предложить пути оптимизации ассортимента декоративных деревьев и кустарников для различных типов зеленых насаждений города Саки.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Город Саки расположен на западном побережье Крыма в 4–5 км от Черного моря, в 22 км от города Евпатория и 45 км от города Симферополь. Саки занимают участки приморской равнины к северу от соленого Сакского озера. Город широко известен как старейший

бальнеологический курорт. Территория Сак относится к западному степному причерноморскому агроклиматическому району, который характеризуется очень засушливым климатом с умеренно жарким вегетационным периодом и мягкой зимой (Важов, 1977). Среднегодовая температура воздуха – 10,8 °С, июля – 22,7 °С, января – 0,4 °С. Средний из абсолютных годовых минимумов температуры колеблется от –14 до –19 °С, абсолютный минимум температуры составляет –30 °С. Летом температура воздуха поднимается до 25–29 °С, в редкие годы – до 40 °С. Средняя годовая сумма осадков – 350 мм, годовая величина испаряемости – 790 мм. Длина вегетационного периода составляет в среднем 185 дней, безморозного – 206 дней (Методические рекомендации..., 1986). Почвы – черноземы южные слабо- и среднеэродированные средне- и тяжелоглинистые на плотных плиоценовых глинах (Классификация и диагностика почв СССР, 1977).

Дендрологическая инвентаризация зеленых насаждений Сак была проведена путем экспедиционных выездов на протяжении 2020–2022 годов. Изучались объекты зеленого строительства общего пользования (скверы) и уличные насаждения – всего обследованы 11 улиц (Ленина, Кузнецова, Советская, Симферопольская, Прохорова, Революции, Гайнудинова, Девяти героев, Евпаторийская, Строительная, Курортная) и 6 скверов (им. А. С. Пушкина, Революции, Девяти героев, Афганской памяти, Памяти жертв депортации народов Крыма, Крымской весны).

Систематическое положение, объем и номенклатура таксонов приняты по World Flora Online (2023). Виды аборигенной флоры Крыма уточнялись по А. В. Ене (2012).

Нами используется следующая условная градация частоты встречаемости вида (культурара): единично – до 10 экземпляров, часто – от 10 до 100 экземпляров, массово – более 100 экземпляров.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В зеленых насаждениях города Саки отмечено 85 видов древесных растений, относящихся к 63 родам из 33 семейств. Ведущими семействами являются: Rosaceae (8 родов, 15 видов), Cupressaceae (5 родов, 8 видов) и Fabaceae (7 родов, 7 видов); далее следуют семейства Oleaceae и Pinaceae – по 5 видов, Salicaceae и Sapindaceae – по 4 вида. Остальные семейства включают 1–3 вида. Наибольшим разнообразием отличается род *Prunus* (6 видов). Также отмечено 13 декоративных форм (культураров) деревьев и кустарников: *Acer platanoides* `Globosum`, *A. p.* `Royal Red`, *Cupressus sempervirens* `Indica`, *C. s.* `Pyramidalis`, *Gleditsia triacanthos* `Inermis`, *Morus alba* `Pendula`, *Picea pungens* `Glauca`, *Platycladus orientalis* `Aurea`, *Robinia pseudoacacia* `Umbraculifera`, *Salix alba* `Pendula`, *S. matsudana* `Tortuosa`, *Taxus baccata* `Stricta`, *Thuja occidentalis* `Fastigiata`, *Ulmus minor* `Pendula`.

Около трети (24 вида, или 28,2 %) дендрофлоры Сак относятся к видам, широко распространенным по территории нескольких флористических областей, например: *Fraxinus excelsior* L., *Juglans regia* L., *Populus alba* L., *Juniperus sabina* L., *Salix alba* L. Все они хорошо адаптированы к местным почвенно-климатическим условиям. Средиземноморская флора представлена 14 (16,5 %) видами, наиболее широко используются: *Pinus nigra* J.F. Arnold subsp. *pallasiana*, *Platanus orientalis* L. и *Buxus sempervirens* L. Далее следуют растения Атлантическо-Североамериканской (12 видов, или 14,1 %), Восточноазиатской (11 видов, или 12,9 %), Ирано-Туранской (10, или 11,8 %) и Циркумбореальной (7 видов, или 8,2 %) флористических областей. Эти виды также хорошо адаптированы: *Gleditsia triacanthos* L., *Juniperus virginiana* L., *Maclura pomifera* (Raf.) C.K. Schneid., *Robinia pseudoacacia* L. (североамериканские); *Koelreuteria paniculata* Laxm., *Platycladus orientalis* (L.) Franco, *Styphnolobium japonicum* (L.) Schott (восточноазиатские). Доля видов, имеющих иное происхождение, невелика. Половина видового разнообразия (43 вида, или 50,6 %) деревьев и кустарников Сак относятся к аборигенной крымской флоре (археофиты – 25 видов, неофиты – 18 видов).

В Саках преобладают листопадные деревья (41 вид, или 48,2 %); далее следуют листопадные кустарники (20 видов, или 23,5 %) и хвойные деревья (13 видов, или 15,3 %).

Доля вечнозеленых лиственных растений незначительна: деревья отсутствуют, кустарников – 3 вида (*Buxus sempervirens*, *Euonymus fortunei* (Turcz.) Hand.-Mazz. *Ilex aquifolium* L.), лианы – 1 вид (*Hedera helix* L.), юкка – 1 вид (*Yucca filamentosa* L.). Все они, кроме *Buxus sempervirens*, представлены единично. Такое невысокое разнообразие вечнозеленых лиственных растений связано с относительно жесткими климатическими условиями, особенно с периодически повторяющимися низкими зимними температурами. Доля остальных биоморф незначительна.

Листопадные деревья выполняют различные функции в ландшафтном дизайне: создают тень в жаркий летний период, снижают скорость ветра, обеспечивают живописное весеннее и летнее цветение, дают красивую осеннюю окраску листвы. Массово в озеленении используются следующие листопадные деревья: *Platanus × acerifolia* Willd., *P. orientalis*, *Robinia pseudoacacia*, *Styphnolobium japonicum*, *Ulmus laevis* Pall. Часто встречаются: *Acer negundo* L., *Gleditsia triacanthos*, *Juglans regia*, *Koelreuteria paniculata*, *Populus nigra* L., *Prunus armeniaca* L., *P. cerasus* L., *P. cerasifera* Ehrh., *Ulmus minor* Mill. Среди этих видов наибольшее количество старовозрастных деревьев (более 40 лет), которые используются во всех типах зеленых насаждений, что говорит об их хорошей адаптации к местным почвенно-климатическим условиям. Остальные виды представлены единично, среди них есть высокодекоративные растения, использование которых в озеленении может быть расширено, например: *Albizia julibrissin* Durazz., *Prunus duclis* (Mill.) D.A.Webb, *P. serrulata* Lindl., *P. cerasifera* subsp. *pissardii* (Carriere) Dostal.

В эстетическом восприятии современного садово-паркового ландшафта большую роль играют кустарники, особенно красивоцветущие. Они являются важным элементом при создании новых и реконструкции старых скверов и парков, где применение деревьев затруднено или невозможно. Массово в озеленении Сак используются только два вида листопадных кустарников (*Philadelphus coronarius* L., *Spiraea × vanhouttei* (Briot) Zabel) и один вид полувечнозеленого (*Ligustrum vulgare* L.); часто – *Hibiscus syriacus* L., *Spiraea japonica* L.f., *Syringa vulgaris* L. Единично встречаются: *Caragana arborescens* Lam., *Cercis siliquastrum* L. *Cotinus coggygria* Scop., *Cotoneaster horizontalis* Decne, *Forsythia viridissima* Lindl., *Tamarix tetrandra* Pall. ex M. Bieb., *Weigela floribunda* (Siebold & Zucc.) K.Koch, применение которых может быть расширено.

Хвойные деревья и кустарники важны для любых типов зеленых насаждений, поскольку сохраняют свою декоративность на протяжении всего года. В Саках произрастают следующие хвойные: *Abies cephalonica* Loudon, *Cedrus atlantica* (Endl.) Manetti ex Carrière, *C. deodara* (Roxb. ex D.Don) G.Don, *Chamaecyparis lawsoniana* (A.Murray bis) Parl., *Cupressus arizonica* Greene, *C. sempervirens* L., *Juniperus sabina*, *J. scopulorum* Sarg., *J. virginiana*, *Picea pungens* Engelm., *Pinus nigra* subsp. *pallasiana*, *Platyclusus orientalis*, *Taxus baccata* L., *Thuja occidentalis* L. Из вышеперечисленных растений только *Platyclusus orientalis* используется массово, а *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* и *Juniperus virginiana* – часто, остальные виды представлены единично. В городских насаждениях встречаются старовозрастные деревья (более 40 лет), которые находятся в хорошем состоянии: *Chamaecyparis lawsoniana* (h – 6 м, d – 18 см), *Cedrus atlantica* (h – 7,5 м, d – 30 см), *Platyclusus orientalis* (h – 8,5 м, d – 20 см), *Picea pungens* `Glauca` (h – 10 м, d – 24 см), *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (h – 8 м, d – 20 см).

В вертикальном озеленении единично используются листопадные лианы: *Campsis radicans* (L.) Seem., *Parthenocissus tricuspidata* Planch., *P. quinquefolia* Planch., *Vitis vinifera* L. Их ассортимент следует расширить, поскольку в современном ландшафтном дизайне многофункциональные элементы вертикального озеленения с применением различных лиан становятся все более актуальными.

В уличном озеленении используется 66 видов и культиваров древесных растений, что составляет 67,3 % от их общего количества в зеленых насаждениях города. Наибольшее видовое разнообразие отмечено на центральных улицах Ленина, Кузнецова и Советской. На улице Ленина произрастают деревья и кустарники 40 видов, но только 11 из них массово и часто встречаются в виде групп и линейных посадок: массово – *Ulmus laevis*, *Styphnolobium japonicum*, *Robinia pseudoacacia*, *Platanus × acerifolia*, *P. orientalis*, *Platyclusus orientalis*; часто – *Gleditschia triacanthos*, *Ulmus minor*, *Juniperus virginiana*, *Philadelphus coronarius*,

Spiraea × *vanhouttei*; остальные – единично. На улице Кузнецова также встречаются деревья и кустарники 40 видов, но значительно больше видов (23), которые представлены значительным количеством экземпляров. Массово встречаются деревья (*Platanus orientalis*, *Platyclusus orientalis*, *Prunus cerasifera*, *Robinia pseudoacacia*) и кустарники (*Buxus sempervirens*, *Ligustrum vulgare*, *Syringa vulgaris*), которые используются здесь в качестве живой изгороди. Часто – деревья (*Acer negundo*, *Fraxinus lanceolata* Borkh., *Gleditschia triacanthos*, *Juglans regia*, *Morus alba* L., *Pinus nigra* subsp. *pallasiana*, *Populus alba*, *Prunus armeniaca*, *P. cerasus*, *Styphnolobium japonicum*, *Ulmus minor*) и кустарники (*Hibiscus syriacus*, *Laburnum anagyroides* Medik., *Philadelphus coronarius*, *Tamarix tetrandra*) в виде групп и одиночных растений. На улице Советской встречаются 33 вида деревьев и кустарников, но только *Platyclusus orientalis* используется массово, а такие виды, как *Acer negundo*, *Fraxinus lanceolata*, *Styphnolobium japonicum* – часто; остальные – единично. В целом, уличное озеленение отличается высоким видовым разнообразием – на каждой из обследованных улиц, кроме приведенных выше, произрастает от 14 видов (улица Симферопольская) до 29 видов (улица Строительная). Однако число массовых видов здесь также ограничено. Оценка экологических и декоративных качеств единичных растений, особенно деревьев, позволит внедрить наиболее адаптированные из них в зеленое строительство региона, например: *Celtis occidentalis* L., *Cupressus arizonica*, *Fraxinus lanceolata*, *Fraxinus excelsior*, *Maclura pomifera*, *Picea pungens* `Glauca`, *Quercus robur* L. Некоторые единичные растения, особенно кустарники, приурочены к частным территориям магазинов, кафе и т.п., которые расположены в пешеходной зоне улиц. К таковым относятся: *Caragana arborescens*, *Lonicera tatarica* L., *Sambucus nigra* L., *Ribes aureum* Pursh и другие. Подобный опыт культивирования декоративных растений также следует принимать во внимание.

В скверах встречается 73 вида и культивара древесных растений, что составляет 74,5 % от их общего количества в зеленых насаждениях города. Здесь единично встречаются хвойные деревья (*Abies cephalonica*, *Cedrus atlantica*, *C. deodara*, *Taxus baccata*) и лиственные деревья (*Catalpa bignonioides* Walter, *Prunus cerasifera* subsp. *pissardii*, *P. serrulata*, *Sorbus aucuparia* L., *Tilia platyphyllos* Scop.), а также разнообразные кустарники (*Berberis vulgaris* L., *Buddleja davidii* Franch., *Cotoneaster horizontalis*, *Forsythia viridissima*, *Ilex aquifolium*, *Spiraea japonica* L.f.), которые отсутствуют в уличном озеленении. Скверы украшают такие декоративные культивары, как *Morus alba* `Pendula`, *Platyclusus orientalis* `Aurea`, *Salix alba* `Pendula`, *S. matsudana* `Tortuosa`, *Taxus baccata* `Stricta`, *Thuja occidentalis* `Fastigiata`, *Ulmus minor* `Pendula`, которые также отсутствуют в уличном озеленении. Все они находятся в хорошем состоянии.

Используя собственные наблюдения и учитывая опыт других исследователей (Григорьев, 1980; Методические рекомендации..., 1980; Галушко, Горак, 2002), мы предлагаем включить в зеленые насаждения города Саки следующие хвойные деревья: *Abies numidica* de Lannoy ex Carrière, *A. pinsapo* Boiss., *Chamaecyparis leylandii* `Gold Rider`, *C. l.* `Pyramidalis`, *Juniperus squamata* `Blue arrow`, *J. s.* `Moonglow`, *Platyclusus orientalis* `Aurea pyramidalis`, обладающие высокими декоративными качествами на протяжении всего года. Рекомендуются также листопадные деревья с декоративной листвой (*Fraxinus angustifolia* Vahl, *Fraxinus ornus* L., *Quercus castaneifolia* C.A. Mey.) и красивоцветущие (*Aesculus* × *carnea* Zeyh., *Crataegus germanica* (L.) Kuntze, *C. monogyna* `Rosea-plena`, *Paulownia tomentosa* Steud., *Sorbus umbellata* (Desf.) Fritsch, *Styphnolobium japonicum* `Pendula`).

Ассортимент кустарников может быть пополнен следующими красивоцветущими видами и культиварами: *Caryopteris incana* (Thunb. ex Houtt.) Miq., *Chaenomeles japonica* (Thunb.) Lindl. ex Spach, *Ch. speciosa* (Sweet) Nakai, *Viburnum opulus* `Roseum`, *Kolkwitzia amabilis* Graebn., *Exochorda racemosa* (Lindl.) Rehder., *Vitex agnus-castus* L. Целесообразно использовать вечнозеленые и полувечнозеленые кустарники: *Lonicera fragrantissima* Lindl. & J. Paxton, *Pyracantha coccinea* M.Roem., *Viburnum rhytidophyllum* Hemsl. Также большой привлекательностью обладают кустарники с декоративной листвой, особенно розовой, красной, пурпурной окраски: *Berberis thunbergii* `Atropurpurea`, *Cotinus coggygia* `Foliis

Purpurea`, *Sambucus nigra* `Black Lace`. Все кустарники можно использовать для создания малых и больших групп, некоторые – для солитерных посадок.

Для вертикального озеленения подойдут следующие лианы: *Wisteria sinensis* (Sims) DC., *W. floribunda* DC, *Periploca graeca* L.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дендрофлора города Саки включает 85 видов, относящихся к 63 родам из 33 семейств. Ведущими семействами являются: Rosaceae (8 родов, 15 видов), Cupressaceae (5 родов, 8 видов) и Fabaceae (7 родов, 7 видов), далее следуют семейства Oleaceae и Pinaceae – по 5 видов, Salicaceae и Sapindaceae – по 4 вида. Остальные семейства включают 1–3 вида. Наибольшим разнообразием отличается род *Prunus* (6 видов). Также отмечено 13 декоративных форм (культураров) деревьев и кустарников. Около трети (28,2 %) дендрофлоры Сак относятся к видам, широко распространенным по территории нескольких флористических областей; далее наиболее представлены виды средиземноморской (16,5 %), североамериканской (14,1 %) и восточноазиатской (12,9 %) флор. В зеленых насаждениях Сак преобладают листопадные лиственные растения (деревья, кустарники, лианы), которые составляют 76,5 % видового разнообразия. Вечнозеленые и полувечнозеленые растения (хвойные деревья и кустарники, лиственные кустарники, лианы, юкки) составляют 23,5 %, расширение их ассортимента значительно повысит экологическую и эстетическую привлекательность города. Для дополнения ассортимента мы предлагаем включить в зеленые насаждения 32 вида и культурара древесных растений: 16 – хвойные и листопадные деревья, 13 – кустарники и 3 – лианы.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме № 121032300023-7и государственного задания Никитского ботанического сада по теме № 0829-2019-0032

Список литературы

- Алексейчук Я. Д., Потемкина Н. В. Результаты изучения зеленых насаждений Сакского дендрария // Современные экологические проблемы Центрально-Черноземного региона. Вып. 2. Особо охраняемые природные территории. Интродукция растений – 2016: Матер. заочной науч.-практ. конф. (Воронеж, 15 июля 2016 г.). – Воронеж: Роза ветров, 2016. – С. 8–15.
- Важов В. И. Агроклиматическое районирование Крыма // Труды Никитского ботанического сада. – 1977. – Т. 70. – С. 92–120.
- Волошин М. И. Парки Крыма. – Симферополь: Крым, 1960. – 159 с.
- Галушко Р. В., Горак Ю. С. О результатах интродукции древесных растений в Евпаторийском дендропарке // Бюллетень Никитского ботанического сада. – 2002. – Вып. 84. – С. 53–57.
- Григорьев А. Г. Древесные экзоты в предгорной и степной зонах Крыма // Труды Никитского ботанического сада. – 1971. – Т. 44. – С. 26–60.
- Григорьев А. Г. Хвойные экзоты предгорного и степного Крыма // Труды Никитского ботанического сада. – 1974. – Т. 53. – С. 43–55.
- Григорьев А. Г. О результатах интродукции древесных растений в евпаторийском дендрарии // Труды Никитского ботанического сада. – 1980. – Т. 82. – С. 80–96.
- Ена А. В. Природная флора Крымского полуострова. – Симферополь: Н. Орианда, 2012. – 231 с.
- Методические рекомендации по подбору деревьев и кустарников для озеленения степного и предгорного Крыма. – Ялта: НБС, 1980. – 27 с.
- Методические рекомендации по районированию природных условий Крыма для целей садоводства. – Ялта: НБС, 1986. – 40 с.
- Классификация и диагностика почв СССР. – М.: Колос, 1977. – 221 с.
- Троцкий Н. А. Лесопарковые насаждения степного Крыма // Известия Крымского отдела географического общества СССР. – 1953. – Вып. 2. – 137 с.
- Цырина Т. С. Систематический список растительности госкурорта Саки // Записки Никитского ботанического сада. – 1928. – Т. 10, вып. 2. – 62 с.
- WFO: World Flora Online. 2023. <http://www.worldfloraonline.org>. Accessed on: 15 Sept. 2023.

Potapenko I. L., Klimenko N. I., Letukchova V. Ju. Ornamental arboreal plants in Saki city and prospects for the landscaping // Ekosistemy. 2023. Iss. 36. P. 203–208.

The present state of ornamental arboreal trees and shrubs in Saki (West Crimea) are investigated where 11 streets and 6 squares are examined. The composition of species was defined and their taxonomy structure and botanical geographical origin were analyzed. Saky dendroflora includes 85 species and 13 cultivars related to 63 genus of 33 families. The leading role in taxonomic structure belongs to the families: Rosaceae (8 genus, 15 species), Cupressaceae (5 genus, 8 species) and Fabaceae (7 genus, 7 species). About a third (28.2 %) of the species is widely distributed over the territory of several floristic regions. This is followed by species of the Mediterranean (16.5 %), Atlantic-North American (14.1 %) and East Asian (12.9 %) floristic regions. The leading position in the biomorphological structure of dendroflora is occupied by deciduous trees (48.2 %), followed by deciduous shrubs (23.5 %), and conifera trees (15.3 %). Deciduous trees outnumber all other biomorphs both in terms of species diversity and numbers. Such trees as *Platanus* × *acerifolia*, *P. orientalis*, *Robinia pseudoacacia*, *Styphnolobium japonicum*, *Ulmus laevis* and shrubs as *Philadelphus coronarius*, *Spiraea* × *vanhouttei* are widespread. Of the total number of conifers only *Juniperus virginiana*, *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* and *Platycladus orientalis* grow in large numbers both in streets and squares of the city. The proportion of evergreen plants is small: no trees, 3 species of shrubs (*Buxus sempervirens*, *Euonymus fortunei*, *Ilex aquifolium*), 1 species of lianas (*Hedera helix*) and 1 species of yucca (*Yucca filamentosa*). In general 66 and 73 species and cultivars of arboreal plants are used in streets and squares landscaping, which is 67.3 % and 74.5 % respectively of the total number in the green areas of the city. There are from 14 to 40 species of trees and shrubs on each of the investigated street. We recommend 32 species of arboreal plants to enrich their assortment for landscaping: 16 – conifers and deciduous trees, 13 – shrubs and 3 – lianas.

Key words: ornamental arboreal plants, landscaping, Saki, West Crimea.

Поступила в редакцию 18.09.23
Принята к печати 19.10.23

Распространение *Phoronis* в биоценозах Черного и Азовского морей

Болтачева Н. А., Лисицкая Е. В., Ревков Н. К.

Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН
Севастополь, Россия
nboltacheva@mail.ru, e.lisitskaya@gmail.com, nrevkov@yandex.ru

На основании собственного материала, собранного в 2010–2022 годы, и литературных данных проанализировано распространение представителя рода *Phoronis* в биоценозах Черного и Азовского морей. Все обнаруженные форонисы отнесены к виду *Phoronis* cf. *psammophila*. Отмечены их эколого-морфологические отличия от типичных представителей вида из других морей. Черноморские экземпляры более мелкие: длина тела – до 16 мм, диаметр – 0,25–0,75 мм, длина щупалец – 0,25–1,65 мм, количество щупалец – 33–60, тогда как для *P. psammophila* из других морей указано 60–190 щупалец. Половозрелые особи имели длину тела от 6,5 мм. Актинотрохи черноморского форониса зарегистрированы в планктоне с мая по октябрь в диапазоне температур 17,6–25,6 °С. Максимальная встречаемость личинок (61,5 %) отмечена при температуре воды 20–21,9 °С. Расширены представления о батиметрических границах обитания форониса в Черном море – от 2 до 110 м. Вид впервые обнаружен в Азовском море, где он зарегистрирован при солёности воды 12,53–14,39 ‰, что расширяет солёностный диапазон обитания вида. Установлено, что в Азово-Черноморском бассейне форонис обитает преимущественно на сильно заиленных грунтах. Наибольшая плотность форониса – 1828 экз./м² – отмечена в западной части Каркинитского залива на глубине 35 м. В Черном море форонис зарегистрирован преимущественно в биоценозах *Mytilus galloprovincialis*, *Pitar rudis* и *Terebellides stroemi*, в Азовском море – в биоценозе с доминированием *Anadara kagoshimensis*.

Ключевые слова: зообентос, Phoronida, *Phoronis psammophila*, актинотроха, Черное море, Азовское море.

ВВЕДЕНИЕ

К типу Phoronida относятся исключительно морские широко распространенные в Мировом океане донные беспозвоночные, обитающие на заиленных грунтах и образующие в отдельных биотопах обширные поселения. В настоящее время данный тип животных включает 11 видов (Emig, de Mittelwahr, 2023). Однако, количество описанных в разное время видов личинок форонид (актинотрох *Phoronis*) превышает 30 (Temereva, Neretina, 2013; Temereva et al., 2016).

Впервые актинотроху *Phoronis*, в дальнейшем названную *Actinotrocha metschnikoffi*, из Одесского залива Черного моря описал И. И. Мечников (Metschnikoff, 1869, 1871, цит. по Selys-Longchamps, 1907). *Actinotrocha metschnikoffi* неоднократно находили в планктоне Новороссийской и Севастопольской бухт в конце 19 – начале 20-го века (Зернов, 1904, 1913), в 30-х годах 20-го века в Каркинитском заливе (Галаджиев, 1948). Взрослая форма этого форониса была описана как новый вид *Phoronis euxinicola* Selys-Longchamps, 1907. В течение длительного времени находки форонид в бентосе Черного моря относили именно к этому виду (Зернов, 1913; Киселева, 1968; Маринов, 1990; Северо-западная часть..., 2006; Petrova, Stoykov, 2013), впоследствии признанному «nomen nudum» (Emig, de Mittelwahr, 2023).

Исследования зообентоса Каркинитского залива и всей северо-западной части Черного моря показали довольно широкое распространение форониса, который был идентифицирован как *Phoronis psammophila* Cori, 1889 (Băcescu et al., 1971; Золотарев, Повчун, 1986; Повчун, 1990, 1992; Золотарев, 1994; Emig et al., 2003). У турецких берегов этот вид был впервые зарегистрирован в 2000 году (Emig et al., 2003). В тот же период С. С. Эмиг (Emig, 1982) синонимизировал личинку *Actinotrocha metschnikoffi* с *Actinotrocha sabatieri* Roule, 1896, которая является типичной личинкой *P. psammophila*.

У румынского побережья был указан и другой вид – *Phoronis hippocrepi* Wright, 1856 (Iacobescu, 1969, цит. по Băcescu et al., 1971). Однако, по мнению С. С. Emig, данная идентификация *P. hippocrepi* сомнительна, а обнаруженные образцы, вероятно, принадлежат *P. psammophila* (Emig et al., 2003).

В некоторых списках видов форонид для Черного моря помимо перечисленных двух видов указан третий – *Phoronis muelleri* Selys-Longchamps, 1903 (Темерева, 2017; Emig, de Mittelwahr, 2023). Данный вид известен для Средиземного моря (Emig et al., 2003; Çinar, 2014), однако сведений о его конкретных находках в Черном море нам найти не удалось. Таким образом, единственным видом, находки которого в Черном море подтверждены специалистами, является *P. psammophila* (Emig et al., 2003; Çinar, 2014).

Цель нашей работы – проанализировать распространение *Phoronis* в различных биоценозах Черного и Азовского морей.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для наших исследований послужили сборы макрозообентоса из экспедиций НИС «Профессор Водяницкий» (рейсы № 64, 68, 70, 72, 84, 86, 90, 96, 103, 122) в 2010–2022 годы. Работы проведены на шельфе северной части Черного моря от берегов Румынии до Кавказского побережья (район Туапсе), а также в юго-западной части Азовского моря. Станции выполнены в диапазоне глубин от 10 до 137 м (табл. 1). Использованы материалы дночерпательных проб, собранных с 291 станции. Отбор донных осадков осуществляли с помощью дночерпателя «Океан-50» (площадь захвата 0,25 м²). Грунт промывали через сита с наименьшим диаметром 1 мм. Материал фиксировали 4 % раствором формалина. Пробы разбирали в лаборатории под микроскопом МБС-9, часть фиксированных экземпляров форонисов использовали для морфометрических исследований. В работе использованы архивные данные отдела экологии бентоса ИнБЮМ. Анализ батиметрического распределения форониса выполнен на материалах, собранных в северо-западной части Черного моря (153 станции). На каждый из рассмотренных диапазонов глубин, взятых с интервалом 20 м, приходилось от 10 до 66 станций.

Для анализа нахождения личинок форониса в планктоне использованы прибрежные сборы меропланктона (всего 286 проб), выполненные в 2010–2022 годы в бухтах юго-западного Крыма, в акватории поселков Кацивели и Никита (Южный берег Крыма) и в прибрежье Карадага (юго-восточный Крым). Меропланктон собирали сетью Джеди с диаметром входного отверстия 36 см и ячейей мельничного газа 135 мкм, облавливали слой 0–10 м. Глубина на станциях отбора проб составляла 13–15 м. Материал разбирали в живом виде, используя микроскопы МБС-9 и Микмед-5. В пробах подсчитывали личинок форониса. Фотографии актинотрох выполнены фотокамерой «Sony cyber-shot 16.2». Встречаемость актинотрох в разные сезоны рассчитана на основании 134 проб, взятых на внешнем рейде Севастополя.

В данной работе мы обратили свое внимание на место форониса в составе различных комплексов донной фауны. В биоценотический анализ включены 72 станции, на которых присутствовал форонис. Рассмотрено вхождение форониса в биоценотические комплексы, выделенные как на основе процедуры многомерного анализа данных, так и по простому доминированию видов на станциях по методу В. П. Воробьева (1949). Многомерный анализ данных выполнен в пакете программ PRIMER (Cluster, MDS, SIMPER анализы) (Clarke, 1993; Clarke, Gorley, 2001). Выделение биоценотических комплексов (фаунистическая классификация) проведено на основе трансформированной (присутствие/отсутствие видов) матрицы данных по станциям. Для минимизации стресс-фактора (Clarke, 1993; Clarke, Gorley, 2001) учтены виды с встречаемостью более 10 % (отмечены на 7 и более станциях из 72). В качестве меры сходства станций использована статистика Брэя-Куртиса (Bray, Curtis, 1957). Определение руководящих видов выделенных пространственных группировок бентоса (комплексов) производилось на основе их вклада (по нетрансформированным значениям биомасс) во внутриклубочное сходство.

Таблица 1

Координаты станций, выполненных в 2010–2022 годы на НИС «Профессор Водяницкий» в Азово-Черноморском бассейне, на которых обнаружен форонис

№ рейса/ дата	№ станции	Координаты		Глубина, м	Грунт	№ рейса/ дата	№ станции	Координаты		Глубина, м	Грунт	
		°N	°E					°N	°E			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
64/ VII. 2010	15	45,01632	33,226867	70	И	84/ IV. 2016	26	44,860668	35,3234	51	И	
68/ XI. 2010	4	45,2986	31,38891	52	ИР	86/ VI. 2016	1	45,20325	33,10955	18	ИР	
	11	45,64033	30,6059	27	ИР		2	45,26433	32,898	44	ИР	
	15	46,08833	31,09883	34	И		3	45,6265	32,71033	28	ИП	
	16	45,98184	31,08953	35	И		7	45,74567	33,02983	20	ИР	
	19	45,50134	31,13704	46	ИР		8	45,75417	33,06533	14	ИР	
	23	45,96709	31,35875	22	ИП		39	45,52944	36,42517	11	И	
	26	45,95515	31,58244	23	ИР		48-а	44,88	33,35333	65	ИП	
	29	45,7458	31,58567	33	ИР		48	44,8799	33,3386	70	ИР	
70/ VII. 2011	7	44,32642	34,19455	33	ИП	90/ X. 2016	49	44,7885	33,45367	55	ИП	
	9	44,66805	35,3846	94	И		50	44,76617	33,3865	86	ИР	
	24	46,0582	31,222033	31	ИР		3	45,14667	33,12062	41	ИП	
	29	45,76	32,2433	35	ИР		4	45,20753	32,82515	55	И	
	30	45,81298	32,4892	35	И		5	45,08984	32,55284	81	И	
	31	45,91408	32,738683	26	И		9	45,29137	32,05017	50	И	
	34	45,9224	33,270767	11	ИР		17	45,834917	36,00925	12	И	
	36	45,89655	33,183567	11	И		20	45,499817	36,507867	11	ИР	
	38	45,78367	33,017833	19	И		23	44,061667	35,571667	23	И	
	39	45,68549	32,766033	27	И		96/ VII. 2017	2	45,60369	32,71745	26	ИР
	40	45,57849	32,5145	34	И			3	45,58768	32,76983	20	И
42	45,15297	33,11495	36	И	5	45,69628		32,76843	27	ИР		
43	45,04992	33,061117	87	И	6	45,72285		32,98145	20	ИР		
72/ V. 2013	4	44,5038	33,3506	102	И	8		45,78553	32,99762	20	И	
	5	33,4011	44,4712	104	ИР	9		45,73717	32,71747	28	ИП	
	8	34,984	44,7828	52	И	11		45,25415	32,51668	55	ИР	
	13	44,8339	35,3	63	И	12		45,22015	32,83478	56	ИП	
	14	44,8925	35,2358	39	И	13		45,26018	32,88137	45	И	
	26	45,5851	32,5189	30	ИР	15		44,8797	33,3581	74	И	
	30	45,5645	32,6733	25	ИР	16		44,6255	33,2328	110	И	
	31	45,6106	32,582	28	ИР	20	44,402317	33,698433	62	И		
	32	46,4198	31,159	20	ИР	28	44,871167	35,23855	51	ИР		
	47	45,0747	33,2365	37	ПР	39	44,529767	33,341267	102	И		

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
84/ IV. 2016	1	44,73223	33,26221	97	И		40	45,70037	32,46075	37	ИР
	2	44,766	33,38843	88	И	103/ IX. 2018	39	44,46483	33,59198	69	ИР
	3	45,70215	32,7665	27	И		131	44,15129	38,83814	95	ИР
	4	45,53893	32,44097	42	И	122/ VI. 2022	192	44,945923	35,286892	25	ИР
	20	44,9912	35,574718	31	И		199	44,948361	35,345593	30	И
	21	44,916385	35,582433	40	И		200	44,94503	35,372907	37	И

Примечание к таблице. И – ил; ИР – заиленный ракушечник; ИП – заиленный песок; ПР – песок с ракушечником.

РЕЗУЛЬТАТЫ

***Phoronis cf. psammophila* в бентали.** В бентосных пробах всего обнаружено 892 экземпляра *Phoronis*. Форонисы находились в тонких трубках, инкрустированных мелкими песчаными или илистыми частицами. Фиксированные особи – желтовато-белого цвета. У особей, хранившихся в формалине несколько месяцев, заметна розовато-оранжевая пигментация в проксимальной части щупалец лофофора (рис. 1 а).

Длина тела форонисов (без лофофора) составляла от 5 до 16 мм, в среднем – $9,7 \pm 0,6$ мм (n=31 экз.). Диаметр тела в основании лофофора – от 0,25 до 0,5 мм, в среднем – $0,33 \pm 0,01$ мм. Диаметр тела в области ампулы – от 0,3 до 0,75 мм, в среднем – $0,5 \pm 0,02$ мм. Число щупалец составляло 51 ± 2 (n=15 экз.). Медиальные и латеральные щупальца лофофора имели одинаковую длину – от 0,25 до 1,65 мм, в среднем $1 \pm 0,07$ мм (n=21 экз.). Лофофор переходного типа между овальным и подковообразным. У некоторых особей отмечены укороченные щупальца одной длины – можно предположить, что особи находились на стадии регенерации после их утери (рис. 1 б). У двух из промеренных особей в кроне щупалец лофофора были отмечены яйца, собранные в одно скопление (рис. 1 с). Размеры этих самок составляли 6,5 и 10,8 мм, диаметр яиц – 50–70 мкм. Самки были обнаружены в пробах, собранных на глубине 30–35 м в августе 2011 года (Каркинитский залив) и июне 2022 года (р-н Карадага).

Форонис был отмечен в пробах макрозообентоса, собранных в юго-западной части Азовского моря и практически на всей обследованной части шельфа Черного моря – на 76-ти из 291 выполненных станций (рис. 2). Он обнаружен на глубинах от 11 м до глубин, близких к предельным для обитания макрозообентоса в Черном море – 110 м.

Наиболее широко форонисы распространены на обширном шельфе северо-западной части Черного моря (СЗЧМ). Показатели его встречаемости и плотности поселений в этом районе различались на разных глубинах (рис. 3). Наибольшие средние значения плотности отмечены на глубине 20–39 м, с её увеличением плотность уменьшалась. Однако, встречаемость форониса на указанной глубине была ниже, чем на 80–99 м. Максимальная численность форониса (1828 экз./м²) отмечена в Каркинитском заливе на глубине 35 м.

Форонис предпочитает илистый грунт. Из всех станций, на которых он был обнаружен, на 48,6 % отмечен илистый грунт, на 38,9 % – заиленный ракушечник, на 11,1 % – заиленный песок и на 1,4 % станций – песок с ракушечником (см. табл. 1).

***Phoronis cf. psammophila* в пелагиали.** В планктонных пробах, собранных у черноморского побережья Крыма, обнаружены личинки форонид – актинотрохи *Phoronis*. Личинки встречались на разных стадиях развития (рис. 1 d, e). Размеры наиболее мелких личинок составляли 168–200 мкм, они имели шесть коротких щупалец, прозрачное тело с просвечивающимся кишечником и черными пигментными пятнами. Максимальный размер личинок, обнаруженных в планктоне и находящихся на более поздних стадиях развития, достигал 750 мкм. Эти актинотрохи имели более длинные щупальца, их число не превышало 14. Тело прозрачное, в полости тела просматривались органы пищеварения. По всему телу

хорошо заметны черные пигментные пятна, у основания щупалец – яркая оранжевая пигментация.

Исследования меропланктона в разных районах Крымского побережья в период 2010–2022 годы (см. рис. 2) показали следующее. В юго-западной части (акватория Севастополя – от Качи до Балаклавы) актинотрохи *Phoronis* встречались в планктоне в единичных экземплярах. Их максимальная численность (9 экз./м³) отмечена в мае 2011 года на внешнем рейде Севастопольской бухты, где глубина составляет 10–13 м. У южного берега Крыма (акватории поселков Качивели и Никита) за трехлетний период круглогодичного отбора проб личинки форонид зарегистрированы не были. В юго-восточной части у берегов Карадага, как и в юго-западной части Крыма, актинотрохи *Phoronis* в летний период встречались постоянно, но их численность не превышала 7 экз./м³.



Рис. 1. *Phoronis* cf. *psammophila*

a – общий вид с частью трубки и лофофор; *b* – передний конец особи на стадии регенерации; *c* – лофофор со скоплением яиц (ov) среди щупалец. Актинотроха *Phoronis* на разных стадиях развития: *d* – личинка с 6 щупальцами; *e* – личинка с 14 щупальцами. Мерная линейка: *a*, *b* – 40 мкм, *c*, *e* – 100 мкм; *d* – 50 мкм.

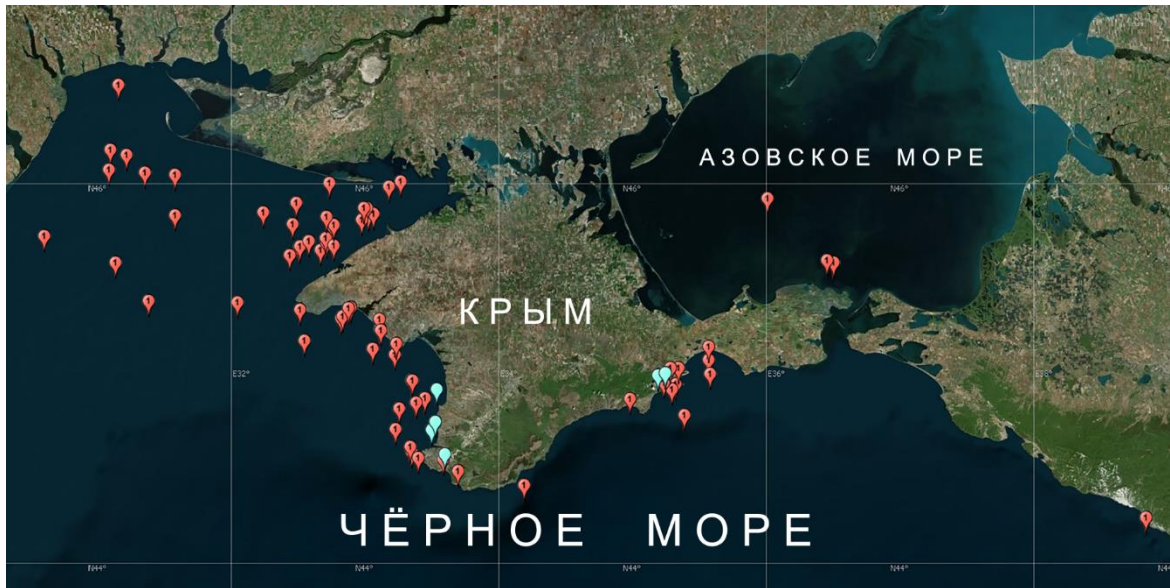


Рис. 2. Карта-схема мест обнаружения в Азово-Черноморском бассейне *Phoronis* cf. *psammophila* в бентосе (красные метки) и актинотрох *Phoronis* в планктоне (голубые метки)

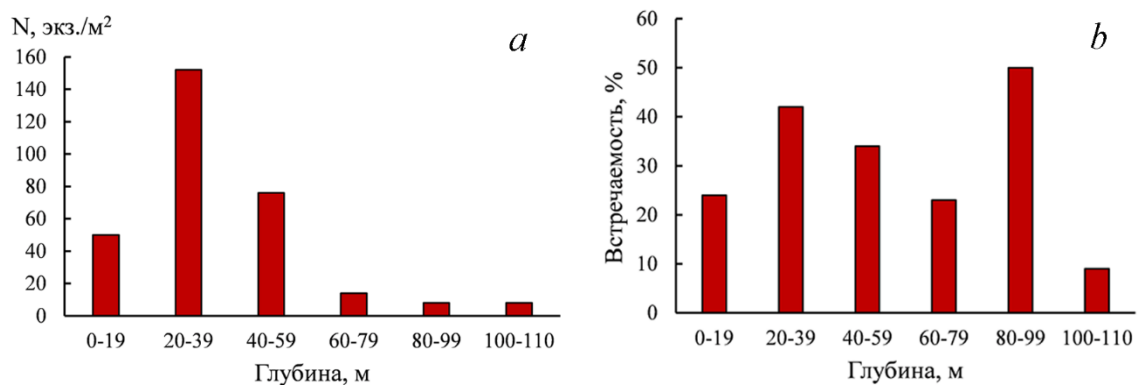


Рис. 3. Плотность (а) и встречаемость (б) *Phoronis* cf. *psammophila* на разных глубинах в северо-западной части Черного моря

В целом, актинотрохи *Phoronis* были зарегистрированы в планктоне с мая по октябрь. Сроки появления личинок существенно зависели от температуры воды. Актинотрохи появлялись в планктоне при прогреве воды до 17,6 °С, и встречались на 25 % выполненных при данных температурных условиях станциях. По мере возрастания температуры воды увеличивалась и встречаемость личинок – до 61,5 % в температурном диапазоне 20–21,9 °С. За весь период наблюдений при температуре воды ниже 17 °С и выше 25,6 °С личинки зарегистрированы не были (рис. 4).

***Phoronis* cf. *psammophila* в фаунистических комплексах и биоценозах.** Общий список видов, отмеченных в пробах совместно с форонисом довольно обширен. Он включает 208 видов, представляющих практически все таксоны в ранге типа, обычные для черноморской фауны: Annelida (58 видов Polychaeta и не идентифицированные до вида представители Oligochaeta), Arthropoda (49 видов), Mollusca (66), Bryozoa (8), Cnidaria (12), Echinodermata (3), Chordata (8). Представители Nemertea, Plathelminthes, Porifera до вида не идентифицированы.

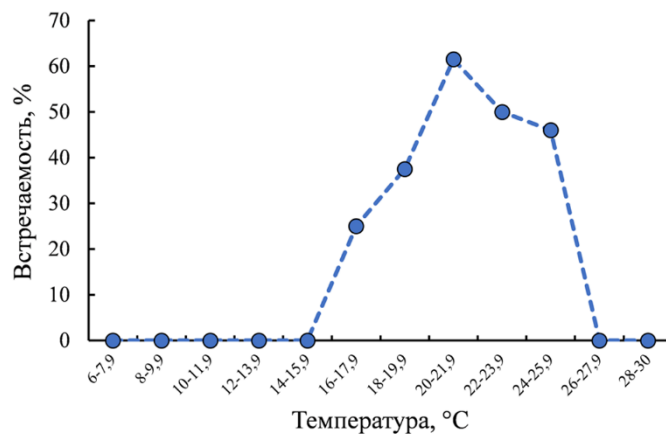


Рис. 4. Встречаемость актинотрох *Phoronis* при различной температуре воды в районе Севастополя в период 2010–2022 годы

По результатам иерархической кластеризации станций выделены два крупных фаунистических комплекса – кластеры станций А и В (представлены соответственно 30 и 29 станциями), два малочисленными комплекса – кластеры С и D (соответственно 9 и 3 станции) и одна маргинальная станция – обозначена как Е (рис. 5 а, b).

Комплексы А, В, С и Е – описывают фаунистическую привязку обитания форониса на шельфе Черного моря, комплекс D – на юго-западном участке Азовского моря. Станции комплекса В расположены в относительно глубоководной зоне (средняя глубина – 68 м) Крымского шельфа. Станции остальных фаунистических комплексов относительно мелководны, со средними глубинами: А – 28 м, С – 26 м, D – 11 м, Е – 18 м (рис. 6).

По доминирующим видам, оцененным по их вкладу во внутрикомплексное сходство (программа Simper) на основе нетрансформированных значений биомасс выделенные черноморские комплексы можно обозначить как: А – *Pitar rudis*, В – *Terebellides stroemi*, С – *Mytilus galloprovincialis* (табл. 2). Комплекс Е, отмеченный нами на одной станции, по доминирующему по биомассе виду может быть обозначен как *Gouldia minima*. Комплекс D, выделенный для станций Азовского моря, характеризовался доминированием *Anadara kagoshimensis*.

Выделяя биоценозы в районах обитания форониса с использованием метода В. П. Воробьева (1949) – по биомассе доминирующего вида – приходим к следующим выводам. Станции, на которых был встречен форонис, в 34 % случаев относились к биоценозу *Mytilus galloprovincialis*, в 18 % случаев – к биоценозу *Pitar rudis*, в 15 % – к биоценозу *Terebellides stroemi*. Средняя глубина в указанных биоценозах составляла 40, 27 и 72 м соответственно. На 4 % станций отмечено численное доминирование *Melinna palmata* Grube, 1870, на отдельных станциях доминировали *Nephtys hombergii*, *Gouldia minima* (Montagu, 1803), *Chamelea gallina* (Linnaeus, 1758), *Papillicardium papillosum* (Poli, 1791), *Tritia reticulata*, *Ciona intestinalis* (Linnaeus, 1767).

Наибольшая средняя плотность форониса (104 ± 79 экз./м²) зарегистрирована в биоценозе *Mytilus galloprovincialis*. В биоценозах *Pitar rudis* и *Terebellides stroemi* она составляла 73 ± 29 и 52 ± 34 экз./м² соответственно. В Азовском море на всех станциях на глубине 10–12 м зарегистрирован биоценоз *Anadara kagoshimensis*. Плотность форониса составляла 2–20 экз./м².

Из многощетинковых червей в биоценозе *Mytilus galloprovincialis* по численности преобладали *Prionospio cirrifera* Wirén, 1883 (средняя плотность 864 экз./м²), *Melinna palmata* (средняя плотность 4266 экз./м²), *Nephtys hombergii* (средняя плотность 161 экз./м²). На отдельных станциях доминировали *Aricidea (Strelzovia) claudiae* Laubier, 1967, *Heteromastus*

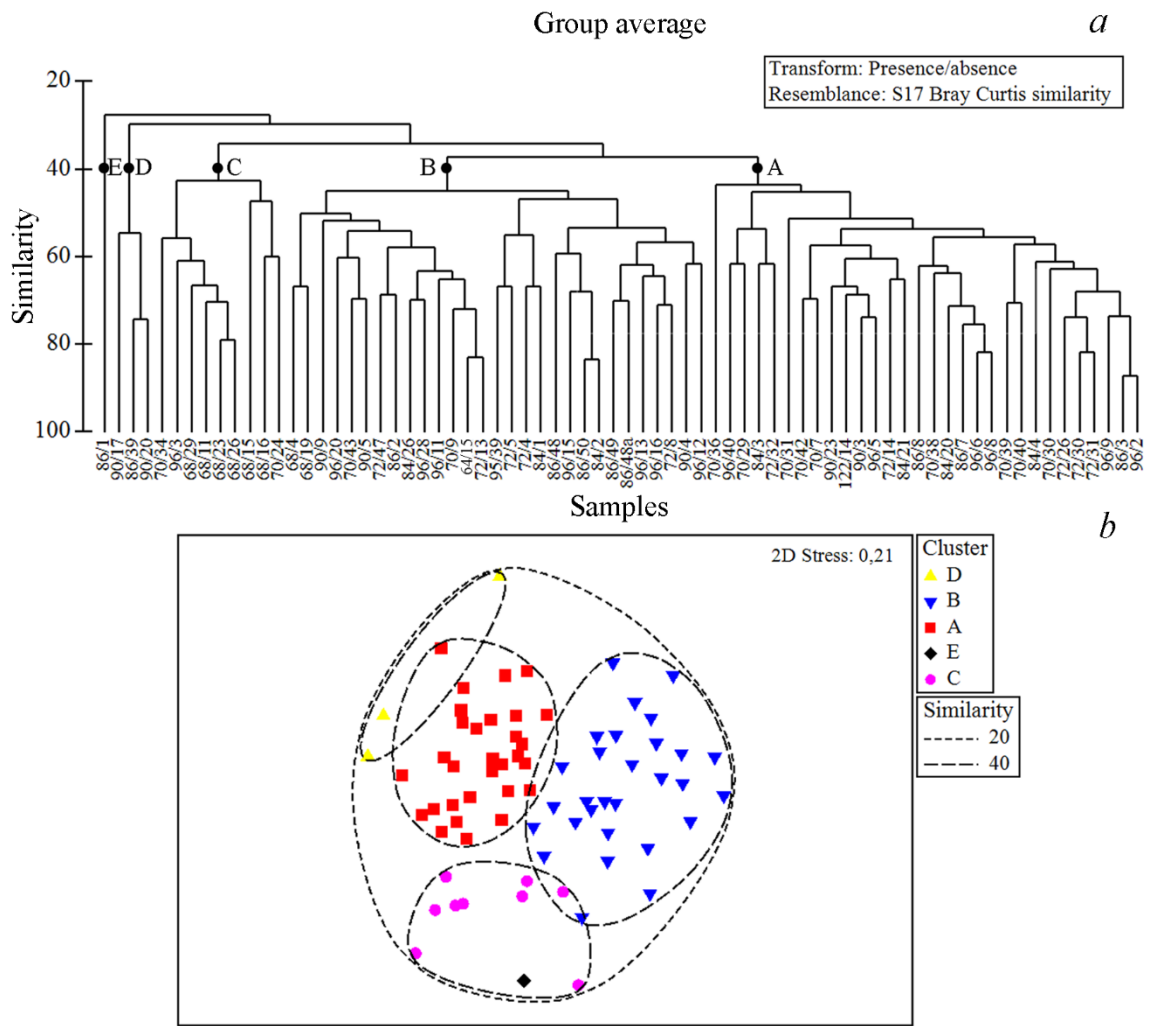


Рис. 5. Иерархическая кластеризация (a) и ординация станций (b), на которых обнаружен форонис
В дендрограмме указаны номера рейсов и станций.

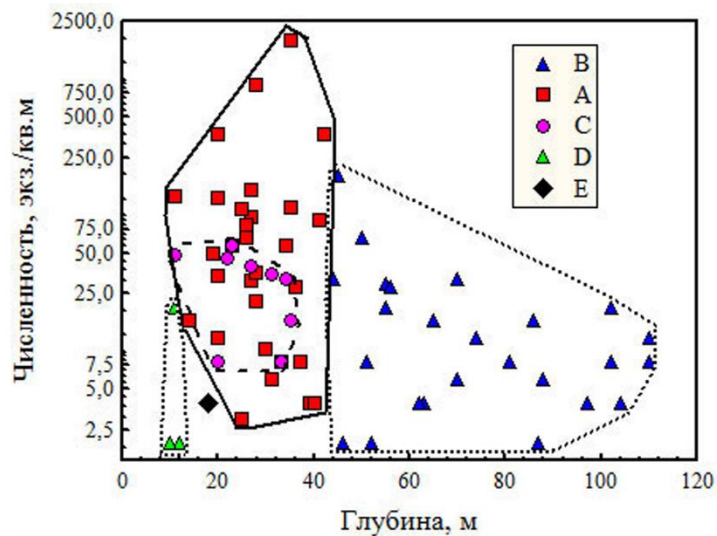


Рис. 6. Ординация численности форониса и его фаунистических комплексов по глубине

Таблица 2

Наиболее значимые виды в фаунистических комплексах, выделенных на основе процедуры многомерного анализа данных, и позиция в этих комплексах *Phoronis* cf. *psammophila*

Кластеры станций	Виды-лидеры по вкладу во внутрикмплексное сходство станций, %	Виды-лидеры по средней биомассе, г/м ²
A	<i>Pitar rudis</i> (Poli, 1795) – 42,59 <i>Nephtys hombergii</i> Savigny in Lamarck, 1818 – 18,05 <i>Tritia reticulata</i> (Linnaeus, 1758) – 9,43 (<i>P. cf. psammophila</i> – 0,3/19)	<i>Mytilus galloprovincialis</i> (Linnaeus, 1758) – 86,03 <i>Pitar rudis</i> – 26,83 <i>Tritia reticulata</i> – 11,19 (<i>P. cf. psammophila</i> – 0,61/17)
B	<i>Terebellides stroemi</i> Sars, 1835 – 37,72 <i>Mytilus galloprovincialis</i> – 23,11 <i>Nephtys hombergii</i> – 18,35 (<i>P. cf. psammophila</i> – 0,24/16)	<i>Mytilus galloprovincialis</i> – 91,65 <i>Modiolula phaseolina</i> (R. A. Philippi, 1844) – 4,31 <i>Terebellides stroemi</i> – 4,07 (<i>P. cf. psammophila</i> – 0,02/36)
C	<i>Mytilus galloprovincialis</i> – 91,7 <i>Mytilaster lineatus</i> (Gmelin, 1791) – 2,99 <i>Asciidiella aspersa</i> (Müller, 1776) – 1,86 (<i>P. cf. psammophila</i> – 0,04/22)	<i>Mytilus galloprovincialis</i> – 181,63 <i>Asciidiella aspersa</i> – 14,56 <i>Polittitapes aureus</i> (Gmelin, 1791) – 8,84 (<i>P. cf. psammophila</i> – 0,04/32)
D	<i>Anadara kagoshimensis</i> (Tokunaga, 1906) – 89,48 <i>Nephtys hombergii</i> – 6,00 <i>Amphibalanus improvisus</i> (Darwin, 1854) – 4,41 (<i>P. cf. psammophila</i> – 0,01/7)	<i>Anadara kagoshimensis</i> – 246,69 <i>Nephtys hombergii</i> – 13,56 <i>Amphibalanus improvisus</i> – 6,19 (<i>P. cf. psammophila</i> – 0,01/9)

Примечание к таблице. Для форониса после черты показана позиция в ранжированном ряду видов.

filiformis (Claparède, 1864), *Aonides paucibranchiata* Southern, 1914, *Dipolydora quadrilobata* (Jacobi, 1883). В биоценозе *Pitar rudis* численное преимущество было у *Aricidea claudiae* (средняя плотность 583 экз./м²), также доминировали *Nephtys hombergii*, *Heteromastus filiformis*, *Prionospio cirrifera*. В биоценозе *Terebellides stroemii* помимо самого доминанта среди полихет преобладали те же виды – *Nephtys hombergii*, *Aricidea claudiae*, *Melinna palmata*. Среди субдоминантов на отдельных станциях отмечены также *Eunereis longissima* (Johnston, 1840) и *Micronephthys longicornis* (Perejaslvtseva, 1891) (на илистых грунтах), *Sabellaria taurica* (Rathke, 1837) и *Lagis neapolitana* (Claparède, 1869) (на песках) и *Sigambra tentaculata* (Treadwell, 1941) (на заиленных ракушечниках). В Азовском море в биоценозе *Anadara kagoshimensis* отмечено доминирование *Nephtys hombergii*, *Polydora cornuta* Bosc, 1802, *Streblospio gynobranchiata* Rice & Levin, 1998.

ОБСУЖДЕНИЕ

У трех видов форонид, когда-либо указанных для Черного моря, имеются определенные морфологические и экологические особенности. Все собранные в период нашего исследования форонисы обнаружены на заиленных рыхлых грунтах. При изучении фауны жестких субстратов Крымского побережья представители форонид зарегистрированы не были (Болтачева и др., 2015). В то же время, для румынского побережья Черного моря приведен вид *Phoronis hippocreperia* (Băcescu et al., 1971; Emig et al., 2003), который является перфоратором, обитает на камнях, раковинах моллюсков (Emig, 1982). В период размножения у *P. hippocreperia* образуются два скопления эмбрионов в лофофоральной полости (Emig, 1979). У обнаруженных нами особей отмечено одно скопление эмбрионов, что характерно для *P. psammophila* (Темерева, Малахов, 2009). У третьего вида, фигурирующего в списках видов форонид Черного моря – *Phoronis muelleri* – при размножении яйца свободно выметываются в воду, скопления эмбрионов в лофофоре не образуются (Emig, 1982; Temereva, Malakhov, 2012). Кроме этого, данный вид характеризуется различной длиной щупалец лофофора, тогда

как у *P. psammophila* все щупальца одинаковой длины (Emig, 1979). У всех проанализированных нами экземпляров щупальца были равной длины. Мы не проводили гистологических исследований, необходимых для корректной идентификации форонисов, однако, учитывая перечисленные выше морфологические и экологические особенности, обнаруженные нами экземпляры соответствуют лишь одному из трех, указанных для Черного моря видов, и мы полагаем, что это – *P. cf. psammophila*.

Сравнивая полученные нами данные с описанием *P. psammophila*, можно отметить ряд морфометрических особенностей. Для данного вида указаны следующие размеры тела: длина – до 80–190 мм, диаметр – 0,5–2 мм, длина щупалец 1,5–2,5 мм (Emig, 1979; Темерева 2017). Черноморские экземпляры более мелкие: длина тела – до 16 мм, диаметр – 0,25–0,75 мм, длина щупалец – 0,25–1,65 мм. Отчасти это может быть связано с методами фиксации, так как известно, что при фиксировании длина тела форонисов уменьшается в 2–2,5 раза (Selys-Longchamps, 1907). Возможно, меньшие размеры *P. psammophila* в Черном море по сравнению с другими морями связаны с пониженной соленостью воды в Азово-Черноморском бассейне (14–18 ‰). Количество щупалец также отличается – черноморские экземпляры имели 33–60, для *P. psammophila* из других морей указано 60–190 щупалец (Emig, 1979; Темерева, 2017). Форониды, обнаруженные Е. Н. Темеревой (2020) у Кавказского побережья Черного моря и определенные ею как *P. psammophila*, также имели морфологические признаки (длина тела 8–10 мм и диаметр 0,16–0,3 мм, число щупалец 40, строение лофофора), отличающие их от типичных представителей вида. Автор предположила, что это были молодые (возможно, недавно метаморфизовавшие) экземпляры. В наших сборах были обнаружены половозрелые особи, имеющую в лофофорах скопления эмбрионов, поэтому можно допустить, что половозрелость у данного вида в Черном море наступает при довольно маленьких размерах тела – от 6,5 мм и более.

Известно, что в Средиземном море (залив Марселя) форонисы *P. psammophila* со зрелыми гонадами встречаются в весенне-летний период, а их максимальная встречаемость в 1970 году (70–80 %) отмечена в июне-июле (Emig, 1982). О размножении форонисов можно судить по наличию их личинок в планктоне. Известно, что актинотрох *Phoronis* в Черном море отмечали в 1902–1912 годы ежегодно в мае – августе (Зернов, 1904, 1913). В различных участках СЗЧМ, в том числе в Каркинитском заливе и Придунайском районе, актинотрохи *Phoronis* были отмечены в небольших количествах в летние сезоны 1930-х и 1973–2003 годы (Галаджиев, 1948; Северо-западная часть..., 2006). В сентябре–октябре 1984 года актинотрохи форониса были обнаружены в юго-западной части Черного моря (Прибосфорский район) (Мурина, Казанкова, 1987). В западной части Каркинитского залива в 1932 году максимальная численность актинотрох (*Actinotrocha metschnikoffi*) – 25 экз./м³ – была отмечена в августе (Галаджиев, 1948). В августе 2011 года актинотрохи были обнаружены в планктоне Феодосийского и Каркинитского заливов, где их численность достигала соответственно 11 и 63 экз./м³ (устное сообщение Ю. А. Загородней). В наших материалах численность личинок форониса у западных и восточных берегов Крыма не превышала 7 экз./м³. Они встречались в планктоне с мая по октябрь, с максимальной плотностью в июне – июле. Температурный диапазон нахождения в планктоне личинок форониса – 17,6–25,6 °С, максимальная встречаемость актинотрох (61,5 %) отмечена при температуре воды 20–21,9 °С.

С начала 20-го века и до 60-х годов представителей *Phoronis* в бентосе Черного моря находили в единичных экземплярах и считали достаточно редкими (Зернов, 1913; Прокудина, 1952; Киселева, Славина, 1966; Киселева, 1968; Vacescu et al., 1971). Они были отмечены в бентосе у берегов Румынии (Văcescu et al., 1971), в Одесском регионе (Северо-западная часть..., 2006), Севастопольской бухте (Зернов, 1913), у берегов юго-восточного Крыма (район Карадага) (Прокудина, 1952), у берегов Кавказа в районе Анапы (Миловидова, 1967), Туапсе и от Адлера до Батуми (Киселева, Славина, 1966; архивн. данные). Их относили либо к *Phoronis euxinicola* (Киселева, Славина, 1966; Миловидова, 1967; Киселева, 1968; Маринов, 1990; Северо-западная часть..., 2006), либо к *Phoronis* sp. (Прокудина, 1952; Киселева, 1981, 1985; Золотарев, Повчун, 1986). Для побережья Болгарии в этот период они не были известны

(Вълканов, 1957). Следует отметить, что в сводном списке видов беспозвоночных СЗЧМ указано, что к 1960-м годам в этом районе были отмечены лишь актинотрохи, находки взрослого форониса были известны лишь южнее острова Змеиный в румынских водах (Виноградов и др., 1967). В этот же период у западных берегов Крыма данный вид тоже не был отмечен (Киселева, Славина, 1964).

Результаты исследований зообентоса в 1980-х годах показали широкое распространение *Phoronida* в Черном море. Форонисы были обнаружены у южного берега Крыма в Ялтинском заливе, где их средняя плотность достигала 190 экз./м² (Киселева, 1985). Вид стал массовым у Болгарского побережья, его численность достигала 450 экз./м² (Маринов, 1990). В 1979–1989 годы было отмечено широкое распространение форониса и в СЗЧМ, где он входил в состав многих биоценозов, причем, в некоторых его средняя плотность достигала 216–236 экз./м² (Золотарев, Повчун, 1986; Повчун, 1990; Золотарев, 1994). Форонисов из этих сборов С. С. Emig определил как *P. psammophila* (Повчун, 1987, 1990; Золотарев, 1994; Emig et al., 2003). Указанное увеличение численности и более широкое распространение форонисов могло быть связано с повышением эвтрофирования вод Черного моря в тот период. Ответной реакцией экосистем бентали на органическое обогащение придонных вод (при условии их хорошей аэрации) явилось увеличение численности и биомассы бентоса и, в особенности, видов-фильтраторов (Ревков, 2011; Болтачева, Заика, 2018), к которым и относятся форониды. В СЗЧМ этот процесс проявился наиболее ярко, к тому же в этом регионе было отмечено заиление обширных площадей дна вследствие донного тралового промысла (Самышев, Золотарев, 2018), что, возможно, способствовало формированию благоприятного субстрата для распространения форониса.

Исследования в начале 21 века расширили сведения об ареале *P. psammophila* в Черном море. Вид был отмечен в турецких водах у Трапезунда (Emig et al., 2003), в озере Донузлав (Западный Крым) (Болтачева и др., 2002; Ревков и др., 2021), в Керченском проливе и побережье Керченского полуострова (Терентьев, 2001; Терентьев, Колесников, 2021). По устному сообщению С. В. Алёмова, в 2009 году в Керченском проливе (район острова Тузла) плотность поселений форониса достигала 563 экз./м². Было подтверждено наличие *P. psammophila* в донных биоценозах у кавказского побережья (Темерева, 2017, 2020). Форонисов по-прежнему находили у берегов Болгарии, но авторы относили их к несуществующему (не валидному) виду *P. euxinicola* (Stoykov, Uzunova, 2001; Petrova, Stoykov, 2013).

Наши исследования подтвердили широкое распространение форониса – от берегов Румынии до Кавказского побережья. При этом, новыми стали сведения о его обитании у западных берегов Крыма – от Севастополя до мыса Тарханкут. Форонис впервые был отмечен в юго-западной части Азовского моря, что явилось следствием повышения его солености с соответствующими элементами понтизации фауны (Болтачева и др., 2022).

P. psammophila – космополит, тропическо-низкобореальный вид, широко распространенный в Тихом, Атлантическом и Индийском океанах, в Средиземном море у побережья Испании, Италии, Турции, Греции, Кипра (Emig et al., 2003; Темерева, 2017; Emig, de Mittelwahr, 2023). Вид является мелководным, в Средиземном море его находки ограничены глубинами 0,5–69 м (Emig et al., 2003). В северо-западной части Черного моря *P. psammophila* был зарегистрирован на глубинах до 89 м (Самышев, Золотарев, 2018). В материалах из рейсов НИС «Профессор Водяницкий» форонисы обнаружены в диапазоне глубин 11–110 м, при этом глубоководные находки сконцентрированы в районе юго-западного Крыма. У Кавказского побережья вид обнаружен на глубине 95 м. На небольшой глубине (2–10 м) форонисы обнаружены в районе Севастополя – в Севастопольской, Балаклавской (наши неопубликованные данные), Камышовой (устное сообщение С. В. Алёмова) бухтах и в озере Донузлав (Ревков и др., 2021).

P. psammophila – эвритермный вид, в Средиземном море отмечен в диапазоне температур от 0 до 28 °С (Emig, 1966). В районах обнаружения форониса в Черном море температура поверхностного слоя вод меняется от 0 °С в зимний сезон до 28–29 °С в летний, на глубине 35–40 м температура колеблется от 8 до 13 °С, глубже 50–55 м залегает квазиоднородный

слой с температурой воды около 8 °С (Иванов, Белокопытов, 2011). То, что форонисы распространены не только на малых глубинах, но и на глубине 50–110 м при постоянной низкой температуре, позволяет предположить, что здесь они находятся в зоне выселения, так как размножение этого вида при такой температуре не происходит. *P. psammophila* обитает при солёности от 18,0 (Чёрное море) до 38,5 ‰ (Средиземное море) (Emig et al., 2003). Нами в Азовском море форонисы обнаружены и при солёности 12,53–14,39 ‰ (Болтачева и др., 2022).

Считается, что *P. psammophila* предпочитает мелкозернистые, иногда заиленные пески (Темерева, 2017). Именно на песках отмечена наибольшая плотность этого вида – 18000 экз./м², однако он встречается и на илистых грунтах, ракушечнике, в зарослях морских трав *Zostera*, *Posidonia*, *Cymodocea* (Emig, 1982; Emig et al., 2003). Показано, что содержание $C_{орг}$ в некоторой степени влияет на численность *P. psammophila* (Emig, 1966). По нашим данным на черноморском шельфе форонис обитает преимущественно на илистых или сильно заиленных грунтах. Лишь на 11,1 % станций, где был обнаружен форонис, грунты были представлены слабо заиленным песком. Его наибольшая плотность – 1828 экз./м² – отмечена в западной части Каркинитского залива на илистом с примесью крупного ракушечника грунте (глубина 35 м). В Севастопольской и Балаклавской бухтах форонис также обнаружен на илистых грунтах, в ряде случаев, имеющих признаки сероводородного заражения (наши неопубликованные данные). В Донузлаве форонис найден на устричниках, а также в зарослях харовых водорослей *Lamprothamnium papulosum* (K. Wallroth) J. Groves, 1916 (Болтачева и др., 2002; Ревков и др., 2021). У Турецкого побережья Чёрного моря *P. psammophila* отмечен в зарослях *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson, 1870 (Emig et al., 2003). Анализ распределения форониса в Одесском регионе (СЗЧМ) показал, что на илистых грунтах его встречаемость составляет 39,6 %, на ракушечнике – 2,9 %, на чистых песках вид не был зарегистрирован (Воробьева и др., 2017).

В настоящее время форонис в Чёрном море стал массовым видом и входит в состав различных биоценозов. Его обнаружение в диапазоне глубин 11–110 м, охватывающем практически всю обитаемую для макрозообентоса зону черноморской бентали, свидетельствует о широкой экологической валентности данного вида и возможности вхождения в различные локальные и поясные донные биоценозы, формирующие вертикальную структуру черноморской бентали. Результаты оценки вхождения форониса в различные биоценотические комплексы/биоценозы бентали с помощью методов многомерной статистики и методом Воробьева оказались в определённой мере сходными. Как в первом, так и во втором случае мы имеем дело с одними и теми же наиболее значимыми ценозообразующими видами: *Pitar rudis*, *Terebellides stroemi* и *Mytilus galloprovincialis*. Однако, каждый из обозначенных комплексов/биоценозов представлен разным количеством формирующих их станций. Так комплекс и биоценоз *Pitar rudis* образованы соответственно 30 и 13, *Terebellides stroemi* – 29 и 11, *Mytilus galloprovincialis* – 9 и 23 станциями из их общего массива. Методическая суть различия указанных двух методов заключается в том, что в первом (основан на методах многомерной статистики) за основу берётся сходство станций по набору обнаруженных на них видов, а затем определяется вид, который может претендовать на роль лидера выделенной группировки. По второму методу станцию напрямую относят к определённому биоценозу по доминирующему на ней по биомассе виду. Приведённые нами краткие пояснения указывают на важность учёта методических подходов при сравнительном анализе материалов, получаемых разными исследователями.

В СЗЧМ в 1979–1989 годы *P. psammophila* чаще всего встречался на илистых и ракушковых грунтах в биоценозе мидии (Самышев, Золотарев, 2018). Интересно, что весной 1982 года здесь на месте подвергнувшегося замору биоценоза мидии возник временный биоценоз *P. psammophila*, в котором форонис был видом, доминирующим как по численности, так и по сырой массе (Самышев, Золотарев, 2018). У южного берега Крыма (прибрежье Ялты) в биоценозе мидии средняя плотность форониса достигала 190 экз./м² (Киселева, 1985). Довольно часто этот вид встречался в биоценозе *Terebellides stroemi*, характерном для илистых грунтов на глубине более 40 м. Высокую встречаемость форониса (до 40 %) в этом

биоценозе указывали и ранее (Повчун, 1990; Самышев, Золотарев, 2018). Форонис характерен для биоценозов *Melinna palmata* и *Nephtys hombergii*, также приуроченных к илистым грунтам. В 80-х годах 20-го века встречаемость данного вида в указанных биоценозах составляла 100 и 67 % соответственно (Самышев, Золотарев, 2018). В Каркинитском заливе в течение ряда лет выделяли биоценоз *Abra nitida*, в котором отмечали высокие значения численности (216 экз./м²) и встречаемости (100 %) форониса (Золотарев, Повчун, 1986; Самышев, Золотарев, 2018). Форонис обнаружен в этом биоценозе в Каркинитском заливе и нами. Как и в исследованиях прошлых лет (Киселева, Славина, 1966; Миловидова, 1967; Терентьев, 2001; Самышев, Золотарев, 2018), так и в настоящее время он зарегистрирован в биоценозах *Chamelea gallina* и *Gouldia minima*. У берегов юго-восточного Крыма форонис впервые отмечен нами в характерном для данного района биоценозе *Pitar rudis*.

Кроме перечисленных выше видов полихет-доминантов *Melinna palmata*, *Terebellides stroemi*, *Nephtys hombergii*, форонисы часто встречались совместно с *Prionospio cirrifera*, *Heteromastus filiformis*, *Aricidea claudiae*, *Dipolydora quadrilobata*. Все эти полихеты являются обитателями илистых или сильно заиленных грунтов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании анализа эколого-морфологических особенностей форонисов можно прийти к выводу, что обнаруженные нами экземпляры соответствуют виду *P. cf. psammophila*, однако, отмечены некоторые отличия от типичных представителей вида. Черноморские экземпляры гораздо более мелкие: длина тела – до 16 мм, диаметр – 0,25–0,75 мм, длина щупалец – 0,25–1,65 мм. Количество щупалец также отличается – черноморские экземпляры имели 33–60, а для *P. psammophila* из других морей указано 60–190 щупалец. Отмечены половозрелые особи с длиной тела от 6,5 мм. Актинотрохи *Phoronis* встречались в планктоне с мая по октябрь в диапазоне температур 17,6–25,6 °С. Максимальная встречаемость личинок (61,5 %) зарегистрирована при температуре воды 20–21,9 °С.

В настоящее время *P. cf. psammophila* широко распространен в Черном море – от берегов Румынии до кавказского побережья в диапазоне глубин 2–110 м. Нами впервые этот вид отмечен в Азовском море при более низкой, чем в Черном море солёности (12,53–14,39 ‰). В Азово-Черноморском бассейне форонис обитает преимущественно на илистых или сильно заиленных грунтах. Его наибольшая плотность – 1828 экз./м² – отмечена в западной части Каркинитского залива на заиленном крупном ракушечнике на глубине 35 м. В Черном море основными биоценозами обитания форониса являются *Mytilus galloprovincialis*, *Pitar rudis* и *Terebellides stroemi*, в Азовском море – биоценоз *Anadara kagoshimensis*.

Благодарности. Выражаем благодарность за помощь в сборе материала научным сотрудникам ИнБЮМ Д. В. Подзоровой, С. В. Щурову, О. А. Трощенко.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по темам: «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана» (№ гос. регистрации 121030100028-0) и «Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса» (№ гос. регистрации 121030300149-0).

Список литературы

Болтачева Н. А., Колесникова Е. А., Ревков Н. К. Фауна макрозообентоса лимана Донузлав (Черное море) // Экология моря. – 2002. – Вып. 62. – С. 10–15.

Болтачева Н. А., Ковалева М. А., Макаров М. В., Бондаренко Л. В. Многолетние изменения макрофауны скал в зоне верхней сублиторали у Карадага (Чёрное море) // 100 лет Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского: сб. науч. тр. / [Ред. А. В. Гаевская, А. Л. Морозова]. – Симферополь, 2015. – С. 530–548.

Болтачева Н. А., Заика В. Е. Моллюски *Chamelea gallina* и *Mytilus galloprovincialis* верхней сублиторали: многолетние изменения // Биология Черного моря у берегов Юго-Восточного Крыма / [Ред. Н. С. Костенко]. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2018. – С. 87–96.
http://karadag.com.ru/static/media/images/books/nature_and_history/THE%20BIOLOGY%20OF%20THE%20BLACK%20SEA.pdf

Болтачева Н. А., Ревков Н. К., Надольный А. А., Аннинская И. Н. Донная фауна юго-западной части Азовского моря. Таксономический состав и биоценотическая организация макрозообентоса в 2016–2017 гг. // Морской биологический журнал. – 2022. – Т. 7, № 2. – С. 3–22. <https://doi.org/10.21072/mbj.2022.07.2.01>

Виноградов К. А., Лосовская Г. В., Каминская Л. Д. Краткий обзор видового состава беспозвоночных северо-западной части Черного моря (по систематическим группам) // Биология северо-западной части Черного моря. – Киев: Наукова думка, 1967. – С. 177–201.

Воробьев В. П. Бентос Азовского моря // Труды АзЧерНИРО. 1949. – Вып. 13. – 193 с.

Воробьева Л. В., Кулакова И. И., Синегуб И. А. и др. Одесский регион Черного моря: гидробиология пелагиали и бентали / [Ред. Б. Г. Александров]. – Одесса: Астропринт, 2017. – 324 с.

Вълканов А. Каталог на нашата черноморска фауна // Трудове на Морската биологична станция. – 1957. – Т. 19. – С. 1–61. (на болгарском).

Галаджиев М. А. Сравнительный состав, распределение и количественные соотношения зоопланктона Каркинитского залива и открытого моря в районе южного берега Крыма // Труды Севастопольской биологической станции. – 1948. – Т. 6. – С. 173–223.

Зернов С. А. К вопросу о годичной смене планктона у Севастополя // Известия Императорской Академии Наук. – 1904. – Т. XX, № 4. – С. 119–134.

Зернов С. А. К вопросу об изучении жизни Черного моря // Записки Императорской Академии наук. – 1913. – Сер. 8. – Т. 32, № 1. – 299 с.

Золотарев П. Н. Структура биоценозов бентали Северо-Западной части Черного моря и ее трансформация под воздействием антропогенных факторов: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.10 Гидробиология. – Керчь: ЮГНИРО. – 1994. – 16 с.

Золотарев П. Н., Повчун А. С. Макрозообентос глубоководной части Каркинитского залива Черного моря // Экология моря. – 1986. – Вып. 22. – С. 48–57. <https://repository.marine-research.ru/items/feefe725-527a-4b8f-ad13-e004444bd834>

Иванов В. А., Белокопытов В. Н. Океанография Черного моря. – Севастополь: Морской гидрофизический институт, 2011. – 212 с.

Киселёва М. И. Класс форонида-Phoronioidea // Определитель фауны Чёрного и Азовского морей. Т. 1: Свободноживущие беспозвоночные: простейшие, губки, кишечноротовые, черви, щупальцевые. – Киев, 1968. – С. 418–420.

Киселева М. И. Бентос рыхлых грунтов Черного моря. – Киев: Наукова думка, 1981. – 165 с. <https://repository.marine-research.ru/items/18a45e11-1f8b-4ddc-937d-42f68b777b42>

Киселева М. И. Характеристика донных сообществ Ялтинского залива в разные сезоны 1979–82 гг. – Севастополь, 1985. – 31 с. – Деп. в ВИНТИ 28.03.85, No 2165-85 Деп. <https://rest.marine-research.ru/api/core/bitstreams/021b431b-8d8e-474c-be7a-acc058f60462/content>

Киселёва М. И., Славина О. Я. Донные биоценозы у западного побережья Крыма // Труды Севастопольской биологической станции. – 1964. – Т. 15. – С. 152–177.

Киселёва М. И., Славина О. Я. Количественное распределение макробентоса у побережья Кавказа. // Распределение бентоса и биология донных животных в южных морях. – Киев: Наукова думка, 1966. – С. 55–74.

Маринов Т. М. Зообентосът от Българския сектор на Черно море. – София: Издателство на българската академия на науките, 1990. – 195 с. (на болгарском).

Миловидова Н. Ю. Донные биоценозы бухт северо-восточной части Черного моря // Донные биоценозы и биология бентосных организмов Черного моря. – Киев: Наукова думка, 1967. – С. 3–17.

Мурина Г.-В. В., Казанкова И. И. Личинки донных беспозвоночных в планктоне Черного моря // Экология моря. – 1987. – Вып. 25. – С. 30–37.

Повчун А. С. Формирование сообщества черноморской мидии. Сообщение I // Экология моря. – 1987. – Вып. 27. – С. 18–27.

Повчун А. С. Изменения донных сообществ Каркинитского залива Черного моря за 50 лет // Гидробиологический журнал. – 1990. – Т. 26, № 5. – С. 20–27.

Повчун А. С. Изменения донных сообществ Каркинитского залива // Многолетние изменения зообентоса Черного моря / [Ред. Заика В. Е.]. – Ин-т биологии южных морей им. А. О. Ковалевского НАН Украины. – Киев: Наукова думка, 1992. – С. 105–137.

Прокудина Л. А. Каталог фауны и флоры Черного моря района Карадагской биологической станции // Труды Карадагской биологической станции. – 1952. – Вып. 12. – С. 116–126.

Ревков Н. К. Макрозообентос украинского шельфа Черного моря. Современное состояние зооресурсов бентали Азово-Черноморского бассейна. В книге: Промысловые биоресурсы Черного и Азовского морей / [Ред. В. Н. Еремеев, А. В. Гаевская, Г. Е. Шульман, Ю. А. Загородняя]. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. – С. 140–162.

Ревков Н. К., Болтачева Н. А., Ревкова Т. Н., Бондаренко Л. В., Щуров С. В., Лукьянова Л. Ф. Донная фауна озера Донузлав (Черное море) в условиях промышленной добычи песка // Экосистемы. – 2021. – № 27. – С. 5–22.

- Самышев Э. З., Золотарев П. Н. Механизмы антропогенного воздействия на бенталь и структуру донных биоценозов северо-западной части Черного моря. – Севастополь: ООО «Колорит», 2018. – 208 с. DOI: 10.21072/978-5-6042012-2-0 <https://rest.marine-research.ru/api/core/bitstreams/4f277018-34d2-42a2-937e-f383c69fa9af/content>
- Северо-западная часть Черного моря: биология и экология / [Ред. Зайцев Ю. П., Александров Б. Г., Миничева Г. Г.]. – Киев: Наук. Думка, 2006. – 701 с.
- Темерева Е. Н. Синописис мировой фауны форонид (Phoronida). Научный доклад. – Москва, 2017. – 73 с. <https://publications.hse.ru/mirror/pubs/share/direct/313103520?ysclid=lomkr8f0c9980666175>
- Темерева Е. Н. Форониды Черного моря // Сборник тезисов II Всероссийской научно-практической школы-конференции «Наземные и морские экосистемы Причерноморья и их охрана» 28 сентября – 02 октября 2020 г. Карадагская научная станция им. Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН Республика Крым, пгт. Курортное. – 2020. – С. 245–247.
- Темерева Е. Н., Малахов В. В. Развитие форонид (Phoronida, Lophophorata) // Ученые записки Казанского Государственного университета. – 2009. – Т. 151, кн. 2. – Естественные науки. – С. 8–33.
- Терентьев А. С. Биоценоз *Chamelea* на шельфе Опуцкого природного заповедника // Заповедники Крыма на рубеже тысячелетий. – Симферополь, 2001. – С. 115–117.
- Терентьев А. С., Колесников М. В. Донные сообщества Керченского пролива Черного моря // Труды ГОИН. – 2021. – Вып. 222. – С. 251–270.
- Băcescu M., Müller G. I. & Gomoiu M. T. Foronide. In: Ecologia Marine – cercetari de ecologie bentala in Marea Neagra // Editions de l'Académie de la République Socialiste de Roumanie, 1971. – Vol. 4. – P. 241 (357 pp.) (in Roumanian).
- Bray J. R., Curtis J. T. An ordination of the upland forest communities of South Wisconsin // Ecol. Monogr. – 1957. – Vol. 27. – P. 325–347.
- Çinar M. E. Checklist of the phyla Platyhelminthes, Xenacoelomorpha, Nematoda, Acanthocephala, Myxozoa, Tardigrada, Cephalorhyncha, Nemertea, Echiura, Brachiopoda, Phoronida, Chaetognatha, and Chordata (Tunicata, Cephalochordata, and Hemichordata) from the coasts of Turkey // Turkish Journal of Zoology. – 2014. – Vol. 38. – P. 698–722.
- Clarke K. R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure // Australian Journal of Ecology. – 1993. – Vol. 18. – P. 117–143.
- Clarke K. R., Gorley R. M. PRIMER v5: User Manual. – Tutorial. Primer-E: Plymouth. – 2001. – 92 p.
- Emig C. C. Anatomie et écologie de *Phoronis psammophila* Cori (Golfe de Marseille; Etang de Berre) // Recueil Des De La Travaux Station Marine D'endoume. – 1966. – Vol. 40. – P. 161–248.
- Emig C. C. British and other Phoronids: Synopses of the British Fauna // Academic Press: New York, 1979. – N 13. – 57 pp.
- Emig C. C. The biology of Phoronida // Advances in Marine Biology. – 1982. – Vol. 19. – P. 1–89.
- Emig C. C., Çinar M. E., Ergen Z. Phoronida from the Eastern Mediterranean and Black Sea // Cahiers de Biologie Marine. – 2003. – Vol. 44 (2). – P. 185–190.
- Emig C. C., de Mittelwihl C. Phoronid@. Phoronida Database 2023. Available at 10.03.2023. <http://paleopolis.rediris.es/Phoronida/>
- Petrova E., Stoykov S. Biocenological investigations of the macrozoobenthos in the northern part of the Bulgarian Black Sea coast in depths up to 30 // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2013. – Vol. 19 (Supplement 1). – P. 16–20.
- Selys-Longchamps M. *Phoronis*. Fauna und Flora des Golfes von Neapel // R. Friedländer & Sohn, Berlin, 1907. – Vol. 30. – 280 pp.
- Stoykov S., Uzunova S. Dynamics of macrozoobenthos in the Southern Bulgarian Black Sea coastal and open-sea areas // Mediterranean Marine Sciences. – 2001. – Vol. 2 (1). – P. 27–35.
- Темерева Е. Н., Малахов В. В. Embryogenesis in phoronids // Invertebrate Zoology. – 2012. – Vol. 8 (1). – P. 1–39.
- Темерева Е. Н., Неретина Т. В. A distinct phoronid larva: morphological and molecular evidence // Invertebrate Systematics. – 2013. – Vol. 27, N 6. – P. 622–633.
- Темерева Е. Н., Неретина Т. В., Ступникова А. Н. An original description of the larval stages of *Phoronis australis* Haswell, 1883 and an analysis of the world fauna of phoronid larvae/ Russian Journal of Marine Biology. – 2016. – Vol. 41, N 2. – P. 128–138.

Boltachova N. A., Lisitskaya E. V., Revkov N. K. Distribution of *Phoronis* in the biocenoses of the Black Sea and the Sea of Azov // Ekosistemy. 2023. Iss. 36. P. 209–224.

The distribution of representative of the genus *Phoronis* in the biocenoses of the Black Sea and the Sea of Azov was analyzed both on the bases of the material collected by the authors in 2010–2022 and other data. The discovered phoronids were attributed to the species *Phoronis* cf. *psammophila*. Their ecological and morphological differences from typical representatives of the species found in other seas are indicated. Black Sea specimens were smaller: with body length up to 16 mm, diameter – 0.25–0.75 mm, tentacle length – 0.25–1.65 mm, number of tentacles – 33–60. For *P. psammophila* from other seas, 60–190 tentacles were reported. Mature individuals had a body length of 6.5 mm or more. Actinotroch larvae of the Black Sea phoronid were recorded in plankton from May to October in the temperature range of 17.6–25.6 °C. The highest occurrence of larvae (61.5%) was observed at a water temperature of 20–21.9 °C. The bathymetric boundaries of *Phoronis* habitat in the Black Sea were found to extend from 2 to 110 m. *Phoronis* cf. *psammophila* was first found in the Sea of Azov, where it was recorded at a water salinity of 12.53–14.39 ‰. This expands the salinity range of the species' habitat. It was specified that in the Azov-Black Sea basin, this phoronid predominantly inhabits heavily silted sediments. The highest density of *Phoronis* cf. *psammophila* (1828 ind./m²) was recorded in the western part of Karkinitzky Bay at a depth of 35 m. In the Black Sea, this species was recorded mainly in the biocenoses of *Mytilus galloprovincialis*, *Pitar rudis*, and *Terebellides stroemi*, in the Sea of Azov it was registered in the biocenosis with dominance of *Anadara kagoshimensis*.

Key words: zoobenthos, Phoronida, *Phoronis psammophila*, actinotroch larvae, Black Sea, Sea of Azov.

Поступила в редакцию 01.07.23
Принята к печати 07.11.23

Обзор биоразнообразия насекомых-энтомофагов, привлеченных для зимовки в гнездовые устройства, размещенные в различных биоценозах

Гладкая А., Ирдосопол Е.

Институт генетики, физиологии и защите растений
Кишинев, Республика Молдова
allagladcaia@mail.ru, iordosopol@yahoo.com

Представлены результаты исследований по привлечению насекомых-энтомофагов – агентов биологической защиты растений в гнездовые устройства, предназначенные для обеспечения их благополучной зимовки и укрытия от неблагоприятных факторов среды в весенне-летнее время. Определены основные таксономические группы зимующих насекомых, агентов биологической защиты растений: Neuroptera, Coleoptera, Hymenoptera. В устройствах нами были обнаружены представители отряда Hymenoptera из 9 семейств: Chalcidoidea (Latreille, 1817), Ichneumonidae (Haliday, 1838), Bethyidae (Ashmead, 1893), Braconidae (Nees von Esenbeck, 1819), Pompilidae (Fabricius, 1798), Sierolomorphidae (1903), Sphecidae (Brothers, 1975), Vespidae (Latreille, 1802), Formicidae (Lepeletier, 1836). Было установлено, что разнообразие зимующих видов рода *Chrysopa* в 2 раза меньше, чем в летней популяции. Более половины (68 %) летней популяции и 86,4 % зимующих златоглазок составляет вид *Chrysopa carnea* Steph. Установлены основные факторы, влияющие на число энтомофагов, привлеченных на зимовку, а именно, виды использованных в устройствах материалов и высота установки устройств над поверхностью земли. Виды Hymenoptera выбирали для зимовки стебли тростника (55,7 %), энтомофаги Chrysopidae предпочитали зимовать в стеблях ревеня (67,5 %) и скорлупе грецкого ореха (31,4 %), энтомофаги Coccinellidae предпочитали зимовать в скорлупе грецкого ореха (79,0 %). Энтомофаги Hymenoptera предпочитали зимовать на высоте 1 м (75,7 %) над поверхностью земли, энтомофаги Chrysopidae выбирали устройства на высоте от 1 до 2 м, энтомофаги Coccinellidae – на высоте до 1 м.

Ключевые слова: гнездовые устройства, зимовка насекомых, материалы-наполнители, биоразнообразие, энтомофаги, Neuroptera, Coleoptera, Hymenoptera, хищники, паразиты.

ВВЕДЕНИЕ

Биологическое разнообразие – это основное условие устойчивости экосистем. В процессе длительной эволюции естественные экосистемы приобрели способность к саморегуляции и самовосстановлению. При трансформации же естественных экосистем в агроэкосистемы, вещественно-энергетические и информационные связи, в том числе и в агроландшафте, значительно изменяются. Значительное антропогенное воздействие на агроландшафты, связанное с интенсификацией сельского хозяйства, увеличением использования пестицидов и урбанизацией, приводят к ухудшению условий существования популяций многих видов растений и беспозвоночных животных, поддерживающих гомеостаз экосистем. Это снижение численности насекомых может вызвать локальное сокращение экосистемных услуг, обеспечиваемых ими: опыление, хищничество и паразитизм (Eggleton, 2020). Актуальной проблемой нынешнего этапа взаимодействия общества и природы является конструирование окружающей среды по образцу и подобию естественных экосистем. Ведущее место в построении современных систем защиты занимает интегрированная защита, основу которой составляет максимальное использование естественных механизмов регулирования численности вредных объектов. Повышения эффективности природных популяций энтомофагов можно достичь путем создания благоприятных экологических условий для их размножения и сохранения. В этих целях применяются различные приемы, важнейшими из которых являются подсевы нектароносов, оборудование удобных мест для зимовки, создание природоохранных зон, в которых происходит накопление, восстановление численности опылителей растений и естественных врагов фитофагов. Цепи питания таких биотопов

состоят из трех-четырех трофических уровней: растения (продуценты) образуют первый трофический уровень, фитофаги (первичные консументы) — второй, их хищники и паразиты-энтомофаги — третий, сверхпаразиты энтомофагов — четвертый (Воронин, 1992).

Положительным примером реализации принципа «естественного биометода» может служить использование гнездовых устройств – ульев Фабра различной конструкции в сельском и лесном хозяйстве для поддержки популяций опылителей и энтомофагов – агентов биологического контроля за численностью фитофагов (Мариковская, Щербакова, 1989; Wearing, Harris, 1999, 2005 и др.), а также для обеспечения дополнительных удобных мест гнездования ос и пчел, поддержки их популяций в местах естественного гнездования (Мальшев, 1963; Иванов, 1983; Мариковская и др., 2001; Иванов и др., 2005; Gaston et al., 2005 и др.). Использование искусственных конструкций для аккумуляции энтомофагов предложено А. Гладкая (2022). Первые сведения о применении гнездовых устройств для привлечения к гнездованию диких пчел и ос с целью изучения их биологии привел французский натуралист Жан-Анри Фабр (1989). В дальнейшем ульи Фабра широко применялись с этой же целью многими исследователями (Parker, Bohart, 1966, 1968; Krombein, 1967; Иванов, 1983; Иванов, Фатерыга, 2003 (2004); Иванов, 2005; 2005 (2006); 2006; Иванов, Фатерыга, 2006; Иванов и др., 2009; 2018а; 2018б; 2019 и др.).

Целью нашей работы является оценка эффективности применения гнездовых устройств, предназначенных для обеспечения благополучной зимовки и защиты от неблагоприятных факторов среды в весенне-летнее время насекомых-энтомофагов в различных биоценозах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследований был энтомокомплекс энтомофагов, привлеченных на зимовку в гнездовые конструкции.

Предметом исследования были гнездовые устройства, размещенные в различных биотопах. В исследованиях использовали модель гнездового устройства, предложенного А. Гладкая (2022). Гнездовое устройство состоит из деревянного корпуса; перегородок, разделяющих корпус; водонепроницаемой крыши; секций с различными типами материалов-наполнителей.

Исследования были проведены в 2022 году на территории трех садов: ботанический сад, плодовый сад и участок смешанного культивирования плодовых и эфиромасличных культур на опытных полях Института генетики, физиологии и защиты растений (Кишинэу, Республика Молдова).

Исследования проводили в четыре этапа:

I – сбор натуральных материалов (тростник, солома, трубчатые стебли) и создания удобных для зимовки насекомых; выбор материала для каркаса и водонепроницаемой крыши; заполнение отдельных секций устройства различным видом наполнителей;

II – размещение гнездовых устройств в весенний период в различных биотопах, закрепление их на определенной высоте (10 см, 1 м, 2 м) над поверхностью земли на высоких опорах в направлении на юг;

III – размонтирование гнездовых устройств в конце сезона и складирование их в холодном помещении;

IV – анализ результатов использования гнездовых конструкций насекомыми-энтомофагами.

Учет насекомых проводили путем последовательного осмотра секций гнездовых конструкций, определение таксономической принадлежности особей и их подсчета. Для оценки численности насекомых-энтомофагов в летнее время дополнительно использовались световые ловушки.

Определение насекомых проводили по Определителю насекомых Дальнего Востока России. (Определитель..., 1995) и Определителю насекомых европейской части СССР (Определитель..., 1978).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Предлагаемый нами прием использования гнездовых устройств позволил привлечь, аккумулировать в исследованных биотопах целый ряд видов полезных насекомых. В результате таксономического анализа проб 2022 года было установлено, что в разработанное устройство были привлечены представители 7 отрядов членистоногих (Паукообразных и Насекомых): пауки (Araneae, Clerck, 1757), сетчатокрылые (Neuroptera, Linnaeus, 1758); жуки (Coleoptera, Linnaeus, 1758); перепончатокрылые (Hymenoptera, Linnaeus, 1758); клопы (Hemiptera, Linnaeus, 1758); чешуекрылые (Lepidoptera, Linnaeus, 1758); двукрылые (Diptera, Linnaeus, 1758). Наиболее значимыми природными ресурсами потенциальных агентов биологической защиты растений являются насекомые, относящиеся к отрядам Neuroptera, Coleoptera, Hymenoptera (табл. 1).

Таблица 1

Процентное соотношение таксономических групп энтомофагов, привлеченных в гнездовые устройства для зимовки в различных биотопах

№	Таксон (отряд)	Биотопы		
		Ботанический сад, %	Плодовые культуры, %	Смешанные культуры, %
1	Neuroptera	7,1	58,3	34,6
2	Coleoptera	33,9	32,2	33,9
3	Hymenoptera	62,0	11,4	26,6

Как видно из таблицы 1 в опытах 2022 года в плодовом саду численность златоглазок (*Chrysopidae*, Schneider, 1851) была 8,3 раза больше, чем в ботаническом саду, и в 1,7 раза больше, чем в смешанных полевых культурах. Максимальная численность представителей перепончатокрылых (Hymenoptera) наблюдалась в ботаническом саду и составила 62,0%. Представители божьих коровок (*Coccinellidae*, Latreille, 1807) встречались равномерно среди трех биотопов.

Расширение объемов скрининга этих таксономических групп энтомофагов, исследование их экологии, плотности и разнообразия важны для развития биологического контроля вредителей. Таким образом, далее мы анализировали главные отряды, рассматриваемые как регуляторы численности вредителей, привлеченных на зимовку в гнездовые устройства. Известно, что отряд Hymenoptera содержит более 200 000 видов, крайне различных по своей биологии. Предполагают, что описано лишь около 30 % паразитических видов, а из этого числа сведения по биологии имеются лишь примерно для 3 % видов. Примерно половина семейств, имеющих в своем составе энтомофагов, относится к паразитам, в основном используемые в классических программах биологического подавления вредных насекомых (Замотайлов, 2012). В результате анализа проб мы установили, что максимальное количество энтомофагов Hymenoptera зимовали в гнездовых конструкциях, размещенных в ботаническом саду (62,0 %) и в агроценозе смешанных культур (26,6 %), минимальное – в плодовом саду (11,4 %) (рис. 1а). При анализе на предпочтение материала-наполнителя представители Hymenoptera (55,7 %) предпочитали для зимовки стебли тростника (диаметром 0,6–0,8 мм) (рис. 1б). Нами было отмечено, что энтомофаги Hymenoptera предпочитали гнездовые устройства, размещенные на высоте 1 м (75,7 %) и 2 м (24,3 %) и не заселяли устройства, размещенные у поверхности земли (рис. 1в).

При анализе проб и индивидуальном выведении установили 10 представителей отряда наездников из 9 семейств: Chalcidoidea (Latreille, 1817), Ichneumonidae (Haliday, 1838), Bethyidae (Ashmead, 1893), Braconidae (Nees von Esenbeck, 1819), Pompilida (Fabricius, 1798), Sierolomorphidae (1903), Sphecidae (Brothers, 1975), Vespoidea (Latreille, 1802), Formicidae (Lepelletier, 1836), зимовавших в гнездовых устройствах (рис. 2).



Рис. 1. Процентное соотношение энтомофагов Нуменоптера, зимовавших в гнездовых устройствах
 а – по количеству в трех биотопах; б – по предпочтению наполнителя; в – по высоте размещения.



Рис. 2. Насекомые-энтомофаги из отряда Нуменоптера
 а – хальцида *Brachymeria* sp. (Chalcidoidea); б – наездник сем. Ichneumonidae; в – дорожная оса Pompilidae (Fabricius, 1798); г – коконы роющих ос *Sceliphron* (Klug, 1801) в ячейках гнезда (Sphecidae).

В устройствах наиболее часто встречались виды надсемейства Chalcidoidea из нескольких семейств паразитических перепончатокрылых. В наших выборках наблюдали особей вида *Brachymeria intermedia* (Nees, 1834) (сем. Chalcidoidea), личинки которого

паразитируют на бабочках, саранчовых, цикадовых, двукрылых, жуков и перепончатокрылых (Kissayi, 2020) (рис. 2а).

В гнездовых устройствах нами были отмечены различные виды перепончатокрылых из семейства Ichneumonidae (рис. 2б), в которое входят, в основном, самые крупные из полезных насекомых, которые поражают личинки и куколки самых разнообразных вредителей из числа фитофагов. Муравьи (Formicidae) были представлены видом *Componotus consobrinus* (Erichson, 1842) который имеет смешанный тип питания. Они поедают разную по составу пищу – белковую (различные насекомые) и углеводную (падь – сладкие выделения тлей, экстрафлоральные и фолиарные экссудаты).

В устройствах нами были обнаружены перепончатокрылые из надсемейства Vespoidea:

1. Виды ос из семейства Pompilidae – охотники на пауков из 9 семейств (Salticidae, Clubionidae, Oxyopidae, Gnaphosidae, Agelenidae, Thomisidae, Lycosidae, Segestriidae, Anuphaenidae) (рис. 2в).

2. Виды ос из семейства Sphecidae, представлены видами из рода *Sceliphron* (Klug, 1801), которые предпочли материал-наполнитель из трубчатых стеблей, где внутри них они лепили свои ячейки из земли. В ячейках наблюдали остатки пауков в большом количестве. В отрезках стеблей (длина 10 см) обнаружены гнезда, состоящие из 10–15 ячеек. В каждой ячейке оса заготавливала по несколько пауков (рис. 2г).

В результате летних наблюдений в гнездовых устройствах и при помощи световых ловушек нами были выявлены виды энтомофагов из семейства Chrysopidae (Neuroptera) и установлено их количественное соотношение на территории плодового сада. Более половины (53,7 %) летней популяции составил вид *Chrysoperla carnea* (Stephens, 1836). У видов *Ch. carnea* Steph и *Chrysopidia ciliata* (Wesmael, 1841) (1,1 %) имаго — полинофаги (питаются пыльцой в цветах), зимовка в имагинальной стадии. У видов *Chrysopa perla* (Linnaeus, 1758) (7,8 %), *Chrysopa septempunctata* (Wesmael, 1841) (10,5 %), *Chrysopa formosa* (Brauer, 1851) (10,5 %) имаго – хищники, что увеличивает их значимость в качестве энтомофагов.

Виды энтомофагов Chrysopidae, привлеченные на зимовку в гнездовые устройства, были не так разнообразны, как в летней популяции: *Chrysoperla carnea* (Stephens, 1836), *Chrysopa septempunctata* (Wesmael, 1841), *Nineta* sp. (Navas 1912). Подавляющее большинство зимовавших златоглазок относятся к виду *Chrysoperla carnea* (86,4 %).

На основе анализа результатов было составлено соотношение численности энтомофагов Neuroptera: Chrysopidae в различных типах биоценозов. Было отмечено, что наибольшая численность энтомофагов семейства Chrysopidae была зафиксирована в плодном саду (58,3 %) и на участке смешанного культивирования (34,5 %) (рис. 3а). Были получены средние значения процентного соотношения насекомых, предпочитающих зимовать в стеблях ревеня (70,4 %) и скорлупе грецкого ореха (28,1 %) (рис. 3б). Отмечено, что энтомофаги Chrysopidae предпочитают высоту размещения устройств 1 м (59,4 %) и 2 м (35,9 %) над поверхностью земли (рис. 3в).

Численность энтомофагов Coleoptera: Coccinellidae распределилась равномерно между тремя исследованными биоценозами (рис. 4а). В результате анализа данных, было установлено, что энтомофаги Coccinellidae заселили, в основном, скорлупу ореха (79 %) и стебли тростника (21 %) (рис. 4б). Нами был зафиксирован выбор энтомофагами Coccinellidae гнездовых конструкций, размещенных на высоте 10 см (44 %) – 1 м (56 %) (рис. 4в).

К видам, привлеченным в гнездовые устройства, относятся такие энтомофаги, как: *Coccinella septempunctata* (Linnaeus, 1758), *Harmonia axyridis* (Pallas 1773), *Calvia quatuordecimguttata* (Linnaeus 1758) (рис. 5б), *Adalia bipunctata* (Linnaeus 1758). Хозяйственное значение перечисленных видов энтомофагов Coccinellidae основано на их биологии. Самый распространенный вид *C. septempunctata*, имаго и личинки которого питаются тлями, щитовками, белокрылками, яйцами чешуекрылых, а также пыльцой растений. В сливовом саду нами наблюдалась миграция взрослых особей из крон деревьев, где они питались тлей в периоды зеленого конуса и выдвижения цветочных бутонов.

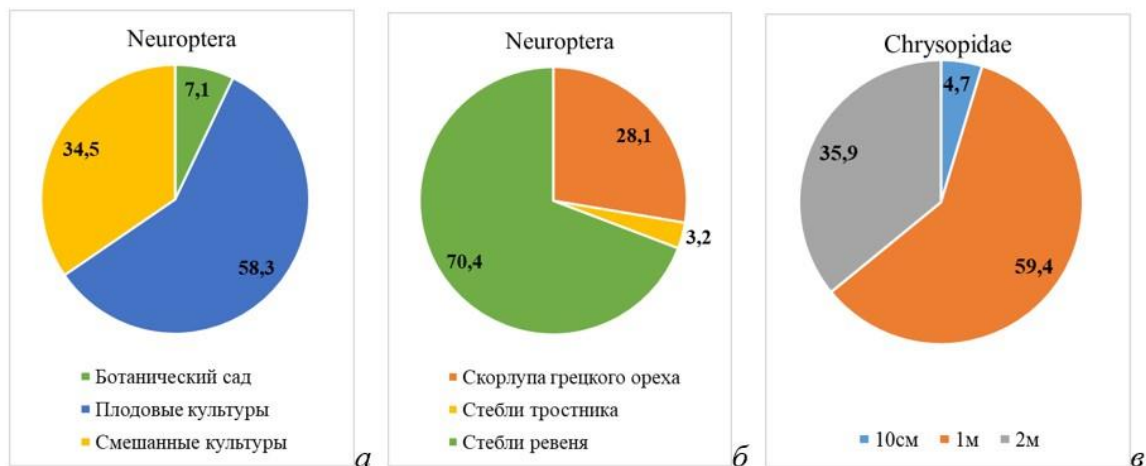


Рис. 3. Процентное соотношение энтомофагов семейства Chrysopidae, зимовавших в гнездовых устройствах
 а – по количеству в трех биотопах; б – по предпочтению наполнителя; в – по высоте размещения устройств.

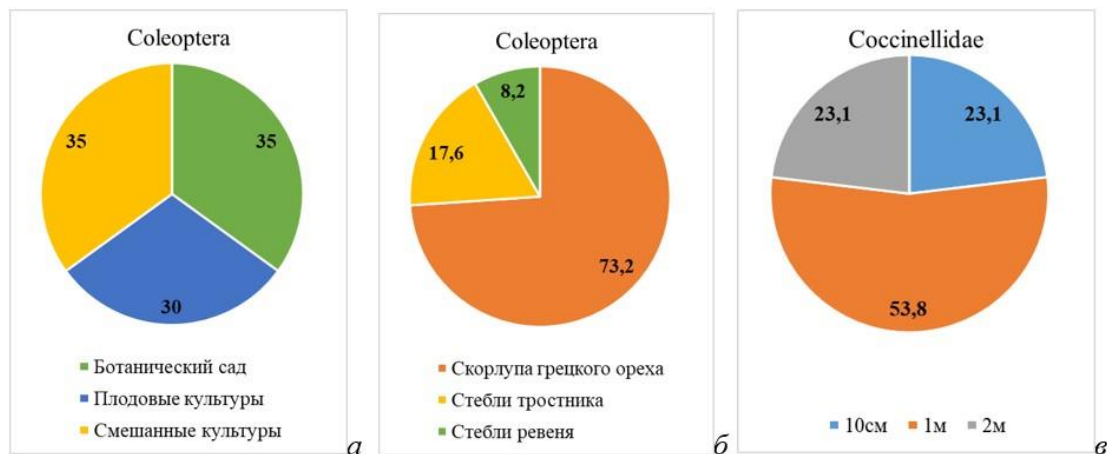


Рис. 4. Процентное соотношение энтомофагов семейства Coccinellidae (Coleoptera), зимовавших в гнездовых устройствах:
 а – по количеству в трех биотопах; б – по предпочтению наполнителя; в – по высоте размещения устройств.

Инвазивный вид *H. axyridis* на стадии имаго и личинки, в основном, насекомоядны, но также питаются развивающимися или спелыми плодами. Нами отмечено, что в данный год численность этого вида была в два раза ниже, чем вид *C. septempunctata*. *C. quatuordecimpunctata* отмечен, как редкий вид в сливовом саду, питается тлём, белокрылками, кокцидовыми, личинками и яйцами некоторых жуков и бабочек.

Нами были систематизированы основные условия привлекательности гнездовых устройств для каждой исследуемой таксономической группы энтомофагов, задействованных в биологической защите растений:

- 1) Для привлечения энтомофагов Hymenoptera устройства необходимо размещать на высоте 1–2 м на отдельно стоящих, хорошо освещенных опорах. Представители Hymenoptera предпочитали для зимовки скорлупу грецкого ореха и стебли тростника (диаметром 0,6–0,8 мм);
- 2) Для привлечения энтомофагов Chrysopidae устройства следует размещать на высоте 1–2 м, на отдельно стоящих, хорошо освещенных опорах. Представители этих видов предпочитали для зимовки стебли ревеня и скорлупу грецкого ореха;



Рис. 5. Насекомые-хищники – истребители тлей

a – взрослая особь златоглазки *Chrysopa* sp.; *б* – божья коровка (*Calvia quatuordecimguttata*).

3) Для привлечения энтомофагов Coccinellidae устройства следует размещать на высоте 0,1–1 м; представители семейства предпочитали для зимовки скорлупу грецкого ореха и стебли тростника.

Таким образом, результатом применения устройств является активизация биологической защиты растений, путём аккумуляции энтомофагов в соответствующих биоценозах и обеспечение им благоприятных условий для зимовки. Преимущество исследований насекомых с помощью гнездовых устройств состоит в том, что насекомые улавливаются живые, полноценные, пригодные к транспортировке, изучению и использованию в качестве агентов биологической борьбы – после окончания сезонной диапаузы насекомые пополняют биоценоз и участвуют в сдерживании роста численности различных фитофагов. Преимущество предлагаемых устройств заключается в том, что этот метод позволяет изучать биоразнообразие энтомофагов непосредственно в их естественной среде обитания. Разработанные нами специальные устройства являются многообещающим инструментом для разнообразных исследований в области экологии, энтомологии и биологической защиты растений.

ВЫВОДЫ

Разработанные и протестированные нами гнездовые устройства с 3 видами материалов-наполнителей, размещенные на различной высоте (0,1, 1 и 2 м), показали свою эффективность в отношении обеспечения благополучной зимовки и укрытия от неблагоприятных факторов среды в весенне-летнее время насекомых-энтомофагов. Преимущества способа привлечения насекомых с помощью гнездовых устройств состоят в том, что насекомые сохраняются живыми в состоянии диапаузы и пригодны к изучению, транспортировке и использованию в качестве эффективных энтомофагов.

В составе привлеченных насекомых отмечены наиболее активные агенты биологической защиты растений (паразиты и хищники), относящиеся к отрядам Neuroptera, Coleoptera, Hymenoptera. Разнообразие видов златоглазок в плодовом саду в весенне-летний период в 2 раза больше, чем зимующих в гнездовых устройствах. Доминирующий вид из привлеченных на зимовку в устройства златоглазок – *Chrysopa carnea* составил 86,4 % от всех зимующих особей насекомых.

Установлено, что существенное влияние на число энтомофагов, привлеченных на зимовку в устройства, оказывают 2 фактора:

1. Тип материала: паразиты из числа Hymenoptera предпочитают для зимовки стебли тростника (55,7 %), хищные представители семейства Chrysopidae предпочитают зимовать в

стеблях ревеня (67,5 %) и скорлупе грецкого ореха (31,4 %), хищные представители семейства Coccinellidae предпочитают зимовать в скорлупе грецкого ореха (79,0 %);

2. Пространственное размещение над поверхностью земли: паразиты из числа Нуменоптера предпочитают зимовать на высоте 1 м (75,7 %) и 2 м (24,3 %); представители хищников семейства Chrysopidae предпочитают зимовать на высоте от 1 до 2 м, представители семейства Coccinellidae предпочитают зимовать на высоте до 1 м над поверхностью земли.

Исследования проведены в рамках проекта Государственной Программы 20.80009.5107.27 «Разработка альтернативных методов, основанных на применении экологически безопасных средств и приемов, для контроля вредных членистоногих в различных агроценозах», финансируемой Национальным Агентством по Исследованиям и Развитию.

Список литературы

Воронин К. Е. Биоценологические основы использования энтомофагов в системах интегрированной защиты растений: автореф. дисс. ... д. б. н.: 06.01.11 Защита растений от вредителей. – Санкт-Петербург: Научно-исследовательский институт защиты растений, 1992. – 34 с.

Гладкая А. А. Применение искусственных конструкций для аккумуляции энтомофагов (*Chrysopa*, Chrysopidae, Neuroptera) в агробиоценозе для биологической защиты растений // Экосистемы. – 2022. – Вып. 30. – С. 158–166.

Замотайлов А. С. История и методология биологической защиты растений // Электронный курс лекций. – Краснодар. 2012. – С. 156–168. Режим доступа: <https://kubsau.ru/upload/iblock/807/80754a35a79a020a7c00cdb13078f56c.pdf>. [просмотрено: 18.04.21].

Иванов С. П. Влияние контрастности входа гнездовых каналов на заселение ульев Фабра дикими пчелами *Osmia cerinthidis* и *Megachile rotundata* (Hymenoptera: Megachilidae) // Естественный альманах (Сб. научн. работ). Серия «Биологические науки». – Херсон: Персей, 2005. – Вып. 6. – С. 60–68.

Иванов С. П. Влияние условий отрождения пчел *Osmia cornuta* (Latreille, 1805) (Hymenoptera: Megachilidae) на заселение ульев Фабра // Известия Харьковского энтомологического общества. – 2005 (2006). – Т. XIII, вып. 1–2. – С. 93–96.

Иванов С. П. Переселение пчел *Osmia rufa* L. (Apoidea, Megachilidae) в период гнездования // Биологические науки. – 1983. – № 5. – С. 40–43.

Иванов С. П., Фатерыга А. В., Жидков В. Ю. Использование гнезд-ловушек и ульев Фабра для изучения фауны и биологии гнездования одиночных видов ос и пчел (Hymenoptera: Aculeata) в Карадагском природном заповеднике. – Карадаг-2009. Сборник научных трудов, посвященный 95-летию Карадагской научной станции и 30-летию Карадагского природного заповедника Национальной академии наук Украины. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. – С. 215–222.

Иванов С. П., Жидков В. Ю., Гауль А. М. А. Влияние конструктивных особенностей ульев Фабра на их привлекательность для пчел-осмий *Osmia bicornis* (L.) и *O. cornuta* (Latr.) (Apoidea, Megachilidae). Сообщение I. Устройство лицевой стороны улья // Экосистемы. – 2018а. – Вып. 13. – С. 68–79.

Иванов С. П., Жидков В. Ю., Гауль Абдулсалам М. А. Влияние конструктивных особенностей ульев Фабра на их привлекательность для пчел-осмий *Osmia bicornis* (L.) и *O. cornuta* (Latr.) (Apoidea, Megachilidae). Сообщение II. Ориентация в пространстве и затенение гнездовых полостей // Экосистемы. – 2018б. – Вып. 16. – С. 99–109.

Иванов С. П., Фатерыга А. В. Биология гнездования *Ancistrocerus nigricornis* (Hymenoptera: Vespidae: Eumeninae) в Крыму // Известия Харьковского энтомологического общества. – 2003 (2004). – Т. 11, Вып. 2. – С. 154–163.

Иванов С. П., Фатерыга А. В. Особенности гнездования пчел-опылителей вида *Osmia coerulea* (Hymenoptera: Apoidea: Megachilidae) в искусственных гнездилищах // Экосистемы Крыма, их оптимизация и охрана (Тематический сборник научных трудов). – Симферополь: ТНУ, 2006. – Вып. 16. – С. 52–57.

Иванов С. П., Фатерыга А. В., Жидков В. Ю. Жалящие перепончатокрылые (Hymenoptera, Aculeata), заселяющие гнезда-ловушки в Крыму // Энтомологическое обозрение. – 2019. – Т. 98, № 1. – С. 70–90.

Иванов С. П. Природоохранные аспекты использования искусственных гнездилищ для диких пчел-мегахилид // Природные комплексы Крыма, их оптимизация и охрана. – Симферополь: Симферопольский государственный университет, 1984. – С. 105–109.

Иванов С. П., Жидков В. Ю., Фатерыга А. В. Поддержка популяций диких пчел-мегахилид (Hymenoptera: Megachilidae) в местах естественного гнездования в Крыму // Фальцфейнівські читання. – 2005. – Т. 1. – С. 209–213.

Мальшев С. И. Дикie опылители на службе человека. – М.–Л.: Наука, 1963. – 68 с.

Мариковская Т. С., Есенбекова П. А., Казенас В. Л. 2001. Сохранение разнообразия жалящих перепончатокрылых (Hymenoptera) в антропогенных биотопах юго-восточного Казахстана с помощью

искусственных приманочных гнездилищ. Структура и функциональная роль животного населения в природных и трансформированных экосистемах. Тезисы I международной конференции, Днепропетровск, 17–20 сентября 2001 г. Днепропетровск: Днепропетровский национальный университет. – 2001. – С. 80–82.

Мариковская Т. С., Щербакова Т. И. Осы в искусственных гнездовьях // Защита растений. – 1989. – 1989 (6). – P. 29–31.

Определитель насекомых Дальнего Востока России. Т. IV. Сетчатокрылообразные, скорпионницы, перепончатокрылые Ч. 1 / [Под ред. П. А. Лера]. – СПб: Наука, 1995. – 606 с.

Определитель насекомых европейской части СССР. Т. III. Перепончатокрылые. Вып. 119 / [Под ред. Г. С. Медведева]. – Л.: Наука, 1978. – 584 с.

Фабр Ж. А. Инстинкт и нравы насекомых. – СПб.: Изд-во А. Ф. Маркса, 1898. – 590 с.

Eggleton P. The State of the World's Insects Life // Annual Review of Environment and Resources – 2020. – Vol. 45. – P. 81–82.

Gaston K. J., Smith R. M., Tompson K., Warren P. H. Urban domestic gardens (II): experimental tests of methods for increasing biodiversity // Biodiversity and Conservation. – 2005. – 14. – P. 395–413.

Ivanov S. P. The Nesting of *Osmia rufa* (L.) (Hymenoptera, Megachilidae) in the Crimea: Structure and Composition of Nest // Entomological Review. – 2006. – Vol. 86, N 5. – P. 524–533.

Kissayi, K., et al. A Revision of the species Chalcidoidea (Insecta, Hymenoptera) deposited in the Museum of Natural History of the Scientific Institute in Rabat (Morocco) // Arxius de Miscel·lània Zoològica. – 2020. – Vol. 18. – P. 143–159.

Krombein K. V. Trap-nesting wasps and bees // Published material, Washington: Smithsonian Press, 1967. – 590 p.

Parker F. D., Bohart R. M. Host-parasite associations in some twig-nesting Hymenoptera from Western North America. // Pan-Pacific Entomologist. – 1966. – 42 (2). – P. 91–98.

Parker F. D., Bohart R. M. Host-parasite associations in some twig-nesting Hymenoptera from Western North America. Part II // Pan-Pacific Entomologist. – 1968. – 44 (1). – P. 1–6.

Tscharntke T., Gathmann A., Steffan-Dewenter I. Bioindication using trap-nesting bees and wasps and their natural enemies: community structure and interactions // Journal of Applied Ecology. – 1998. – 35 (5). – P. 708–719.

Wearing C. H., Harris A. C. Evaluation of the predatory wasp, *Ancistrocerus gazella*, for biological control of leafrollers in Otago fruit crops. I. Prey composition, nest structure and wasp productivity from artificial nests // Biocontrol Science and Technology. – 1999. – 9 (3). – P. 315–325.

Wearing C. H., Harris A. C. Evaluation of the predatory wasp, *Ancistrocerus gazella*, for biological control of leafrollers in Otago fruit crops. II. Wasp phenology and seasonal changes in prey composition // Biocontrol Science and Technology. – 2005. – 15 (3). – P. 281–298.

Gladcaia A., IrDOSopol E. Review of the entomofaunal biodiversity, attracted in nesting devices placed in various biocenoses // Ekosistemy. 2023. Iss. 36. P. 225–233.

As a result of the research, the advantages of the method of attracting insects using nesting devices were established: insects are caught alive, full-fledged, in a state of diapause, suitable for their study, transportation and use. The main taxonomic groups were identified. The most significant potential biological plant protection agents belonging to the orders Neuroptera, Coleoptera, Hymenoptera (parasites and predators). In the devices we found representatives of the Hymenoptera order from 9 families: Chalcidoidea (Latreille, 1817), Ichneumonidae (Haliday, 1838), Bethyridae (Ashmead, 1893), Braconidae (Nees von Esenbeck, 1819), Pompilida (Fabricius, 1798), Sierolomorphidae (1903), Sphecidae (Brothers, 1975), Vespoidea (Latreille, 1802), Formicidae (Lepelletier, 1836). It was found that the wintering species diversity of the *Chrysopa* genus is 2 times less than in the summer population. More than half (68 %) of the summer population and 86.4 % of the wintering lacewings are the species *Chrysopa carnea* Steph. The main factors influencing the number of entomophages attracted to wintering with the help of nest structures were established: a) types of materials: Hymenoptera prefer reed stems for wintering, Chrysopidae entomophages prefer wintering in rhubarb stems and walnut shells, Coccinellidae entomophages prefer to winter in walnut shells; b) location height: Hymenoptera entomophages preferred to winter at a height of 1 m and 2 m, Chrysopidae entomophages preferred to winter at a height of 1 to 2 m, Coccinellidae entomophages preferred to winter at a height of up to 1 m.

Key words: nest devices for wintering insects, filler materials, biodiversity, entomophages, Neuroptera, Coleoptera, Hymenoptera, predators, parasites.

Поступила в редакцию 08.06.23

Принята к печати 27.11.23

Структурно-ценотические особенности ценопопуляций и анатомическое строение вегетативных органов *Paronychia cephalotes* (M. Bieb.) Besser

Вахрушева Л. П., Николенко В. В., Петришина Н. Н., Котов С. Ф.

Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Симферополь, Россия

vakhl@inbox.ru; niki-vera@mail.ru; n-petrishina@list.ru; sfktv@mail.ru

В статье представлены результаты изучения 6 ценопопуляций *Paronychia cephalotes* (M. Bieb.) Besser, произрастающих в петрофитных степях и на петрофитоне известняковых скал предгорной части Крыма. При проективном покрытии 7 % и более *P. cephalotes* являлась содоминантом, численность ценопопуляций соответствовала 17–98 экземплярам, плотность $3,4 \pm 1,2$ на 1 м^2 ; при покрытии 1,0 % вид выполнял роль ассектатора, плотность составляла $0,9 \pm 0,6$ особей на 1 м^2 . Все ЦП имели контагиозный тип пространственной структуры, образуя мономодальные (пик на генеративных особях) преимущественно неполночленные спектры. По классификации «дельта-омега» ценопопуляции относились к молодым (ЦП 5, 6) и находились на границе молодые-переходные (ЦП 1, 4), и типичным, переходным к зрелым (ЦП 2, 3). Некоторые данные об анатомическом строении вегетативных органов *P. cephalotes* получены впервые. Эти данные являются важным дополнением к общетеоретическим сведениям о внутривидовой организации родов семейства *Cariophyllaceae* и позволили доказать принадлежность изученного вида к экологической группе ксеромезофитов и биоморфе полукустарничков.

Ключевые слова: *Paronychia cephalotes*, ценопопуляция, охраняемый вид, пространственная структура, онтогенетическая структура, анатомическая структура, Крым.

ВВЕДЕНИЕ

Для Крыма, как одного из центров биоразнообразия, имеет особую актуальность сохранение редких видов растений в их природных популяциях в среде естественного произрастания (Meffe et al., 1994; Выработка приоритетов..., 1999; Примак, 2002). В рамках реализации Стратегического плана Международной Конвенции Декады Биоразнообразия, 2011–2020 гг. (Новости ООН, 2023; Convention on Biological Diversity, 2023) крымскими учеными накоплен значительный материал о структуре популяций редких видов флоры, необходимый для их охраны *in situ* (Брынза, 2014; Вахрушева, Абдулганиева, 2015; Летухова, Потапенко, 2017; Вахрушева, Заднепровская, 1918; Абдулганиева, 2020; Вахрушева, Абдулганиева, 2020; Vakhrusheva, Abdalganieva, 2020).

Комплексную морфолого-онтогенетическую оценку редких растений в последние годы стали обогащать и анатомическими исследованиями (Вахрушева, Николенко, 2017; Абдулганиева, 2020; Вахрушева, Петришина, Павшенко, 2020). В таком же комплексном формате было проведено изучение приноготовника головчатого (*Paronychia cephalotes* (M. Bieb.) Besser) – вида, внесенного в Красную книгу Республики Крым (2016), Красную книгу города Севастополя (2018), Красную книгу Краснодарского края (2017) и Красную книгу Российской Федерации (2008), где для него в целом указываются низкая численность и плотность, но отмечается отсутствие точных данных об этих показателях, что свидетельствует о малой изученности популяций. Усилившееся в последние годы уничтожение мест обитаний приноготовника головчатого, в связи с интенсификацией хозяйственного освоения предгорий и строительством автомобильных трасс, обуславливает особую важность точных сведений о современном состоянии популяций *P. cephalotes*. Оказалась недостаточно исследованной и анатомическая структура не только

рассматриваемого вида, но и рода в целом (Borhidi, 1966; Schweingruber, 2007; Schweingruber et al., 2011; Schweingruber, Börner, 2018).

Цель настоящей работы – выяснить особенности пространственной и онтогенетической структур крымской популяции приноготовника головчатого (*P. cephalotes*), определить численность и плотность в разных эколого-ценотических условиях, изучить анатомическое строение вегетативных органов растений, оценить современное состояние его крымских ценопопуляций.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

P. cephalotes – стелющийся стержнекорневой рыхлодерновинный полукустарничек высотой 5–10 см. Это понтический элемент флоры, аэропедофит, литофит, мезоксерофит и гелиофит (Голубев, 1996). В Крыму произрастает на щебнистых экотопах и поверхности скал в степной и горной частях, общий ареал захватывает Балканы, Юго-Восточную Европу, Малую Азию, Западное Закавказье (окрестности Новороссийска). Природоохранный статус в Красной книге Российской Федерации (2008) указывается как вид, «сокращающийся в численности». Для Крымского полуострова отмечается как «вид вне опасности» (Красная книга Республики Крым..., 2016) и вид, «сокращающийся в численности» (Красная книга города Севастополя, 2018).

Изучение фитоценозов с произрастанием *P. cephalotes* проводились в 2018, 2019 и 2020 годы по стандартным геоботаническим методам: определялись флористический состав, проективное покрытие видов, устанавливалась синтаксономическая принадлежность сообществ, численность и плотность *P. cephalotes* (Шенников, 1964; Уранов, 1975). Пространственная структура анализировалась по значениям индекса Одума (Io) (Одум, 1986). Для установления онтогенетической структуры предварительно были выявлены критерии возрастных состояний *P. cephalotes* по Т. А. Работнову (1950), Л. А. Жуковой (2001). Онтогенетическая характеристика ценопопуляций в разных эколого-ценотических условиях оценивалась по комплексу индексов (I_v , I_c , I_r) (Коваленко, 2005). Возрастность (Δ – индекс возрастности) и эффективная плотность (ω – индекс эффективности) ценопопуляций определялись по методикам А. А. Уранова (1975) и Л. А. Животовского (2001). Совместное использование этих индексов было положено в основу установления типа ценопопуляций: молодые, зреющие, зрелые, переходные, стареющие и старые.

Анатомо-морфологические структуры надземной части растений изучались на фиксированном (спирт : глицерин : вода в соотношении 1 : 1 : 1) и нативном материале, собранном в фазе цветения. Анатомическое изучение проводили по общепринятым методикам (Прозина, 1960; Барыкина, 2004) на препаратах, полученных с помощью микротомы Ротмик 2-П. Данные обрабатывались по стандартным методам математической статистики (Лакин, 1980). Исследование временных и постоянных препаратов проведены с использованием микроскопа Olympus CX31RTSF. Объекты фотографировали цифровой камерой Olympus (Industrial Digital Camera TOUPCAM™ U3CMOS10000KPA).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Фитоценозы, в составе которых произрастают изученные ценопопуляции *P. cephalotes*, приурочены к щебнисто-скальным экотопам предгорного Крыма. Большая часть ценопопуляций встречается в петрофитных степях и фриганоидных сообществах, однако иногда особи изучаемого вида выходят на скалы и известняковые глыбы, располагающиеся в пределах указанных фитоценозов, и формируют там самостоятельные ценопопуляции, достаточно четко отличающиеся по структуре от основного фона растительности. Подчеркнем – вся совокупность особей в этом случае рассматривается нами, как единая популяция (Seibold, 1980). Общее количество особей на момент исследования в пределах изученных ценопопуляций колебалось от 17 до 98 экземпляров, среднее число на 1 м² зависело от роли вида в формируемом сообществе: если количественное участие *P. cephalotes*

в фитоценозе достигало значения содоминанта, то плотность составляла $3,4 \pm 1,1$ на 1 м^2 , (проективное покрытие вида достигает при этом около 7 % и более); когда вид выполнял лишь роль ассектатора, то его плотность едва достигала $0,9 \pm 0,6$ особей на 1 м^2 , а проективное покрытие было крайне незначительным – около 1,0 % (табл. 1).

Таблица 1

Геоботанические показатели фитоценозов и ценопопуляций *Paronychia cephalotes*

Ценопопуляция	Тип экотопа / местоположение	Название ассоциации	Площадь, м^2 Покрытие травостоя / вида, %	Численность / плотность на 1 м^2	Фитоценотическая роль вида в составе данной ассоциации
ЦП 1	Петрофитная степь (окрестности г. Симферополь, ландшафтно-рекреационный парк «Битак»)	<i>Bothriochloetum Fumanetono-smetogenistosum</i>	100 64,0/0,6	44/0,3	ассектатор
ЦП 2	Известняковая скала (окрестности г. Симферополь, ландшафтно-рекреационный парк «Битак»)	<i>Thymosoparonychiosum</i>	15 30,0/3,5	17/0,9	содоминант
ЦП 3	Петрофитная степь (Симферопольский район, окрестности с. Каменка)	<i>Festucetum-Satureetoparonychiosum</i>	80 60,0/7,0	98,0/4,0 (в 2-х локусах), везде – единично	содоминант
ЦП 4	Петрофитная степь (Белогорский район, окрестности пещеры «Таврида»)	<i>Festucetum Satureetopotentillietothymosum</i>	100 64,0/0,4	86,0/0,6	ассектатор
ЦП 5	Известняковая скала (Белогорский район, окрестности с. Синекаменка)	<i>Satureetum paronychiosopleuroziosum</i>	9 80,0/3,4	27,0/3,0	содоминант (ассектатор)
ЦП 6	Петрофитная степь (Белогорский район, окрестности с. Синекаменка)	<i>Stipetum-Satureetoparonychiosum</i>	100 68,0/8,2	88,0/1,4	содоминант

Структура фитоценозов с участием *P. cephalotes* на известняковых скалах, несмотря на общность механического и химического состава экотопов, принципиально отличается по комплексу эколого-ценотических условий. Известняковая скала в парке «Битак» (ЦП 2) располагается на склоне юго-юго-западной экспозиции, основную часть светового дня она находится под прямыми лучами солнечного света, растения на ней произрастают лишь в небольших углублениях и кавернах известняка, поверхность только на 30 % покрыта растениями. Доминирует *Thymus rogneri* К. Koch (11,0 % проективного покрытия), покрытие *P. cephalotes* в этом фрагменте достигает до 3,5 %, он имеет невысокую численность и плотность (табл. 1). Известняковая скала в окрестности села Синекаменка (ЦП 5) находится также в пределах петрофитной степи, но весь участок располагается на пологом склоне

северной экспозиции, а петрофитная степь по периметру окружена лесным массивом. Непосредственно поверхность самой скалы находится большую часть светового дня в густой тени, а проективное покрытие в этой ассоциации определяется не цветковыми растениями, а мхом *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. Отмеченные нами в ассоциации *Satureja taurica* Velen. и *P. cephalotes* играют, по сравнению с мхом, подчиненную роль, достигая каждый покрытия около 3,4–4,6 % из 80,0 % общего проективного покрытия, то есть строго по фитоценотической роли в этом сообществе – это ассектаторы. Это тем более подчеркивает и эдификаторную роль мха в формировании биотопа – он накапливает влагу, долго сохраняет ее даже в самые засушливое время, что снимает экстремальность влияния этого важного экологического фактора на ценопопуляцию *P. cephalotes* в период засухи.

Отмеченные отличия в характере эко- и биотопов известняковых скал проявляются и в характере онтогенетической структуры произрастающих здесь ценопопуляций растений. Для исследования онтогенетической структуры нами был проведен морфометрический анализ признаков *P. cephalotes*, информативных для дифференциации его возрастных состояний. Выявлены следующие признаки: количество листьев, степень ветвления надземных побегов, смена типов нарастания побегов (моноподиального на симподиальное), характер их расположения в пространстве, соотношение вегетирующих и усохших побегов. На известняковой скале в парке «Битак» онтогенетический спектр (ЦП 2) неполночленный, мономодальный, с пиком на особях генеративного возрастного состояния. Левосторонняя часть его не содержит проростков, ювенильных и имматурных особей. Таким образом, имеет место депрессивная тенденция в развитии ЦП 2 (рис. 1).

На известняковой скале в окрестности села Синекаменка в ЦП 5 отсутствуют только особи сенильного возраста, вся левосторонняя часть полночленная, с достаточным количеством проростков (18,5 %), одинаковым участием других групп растений прегенеративного возраста (j, im, v – по 26,2 %), мономодальность спектра определяется четко выраженным преобладанием генеративных особей (рис. 1). Правосторонняя часть спектра характеризуется полным отсутствием на момент исследования субсенильных и сенильных растений, что и обуславливает его неполночленность (рис. 2). Статистически подтверждены на 95 % уровне значимости величины индексов Одума (Io): 1,18 (ЦП 2) и 1,21 (ЦП 5),

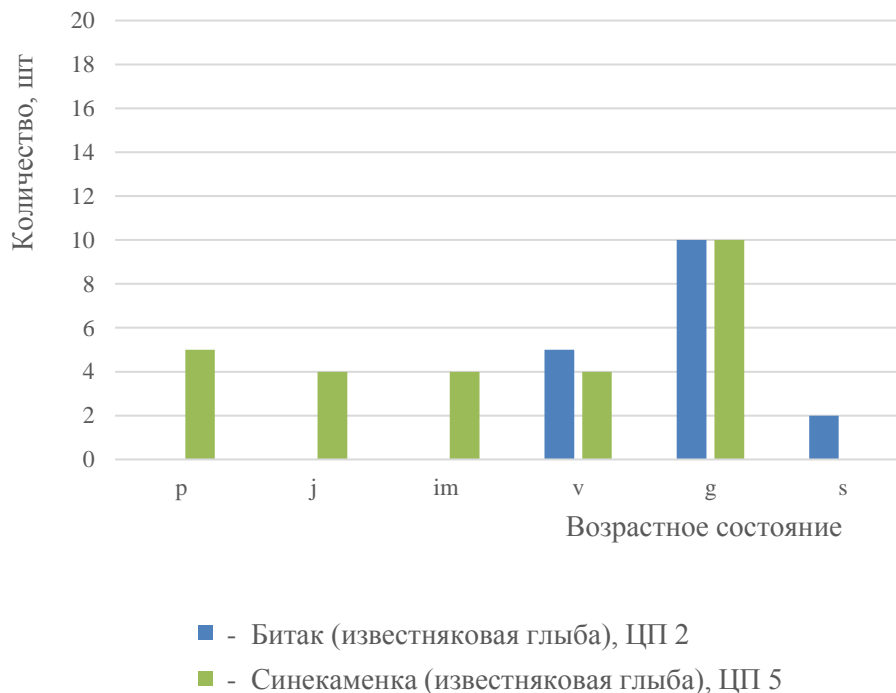


Рис. 1. Онтогенетические спектры ценопопуляций *Paronychia cephalotes* (ЦП 2 и ЦП 5)

свидетельствующие о групповом (контагиозном) характере произрастания особей в обеих ценопопуляциях.

Онтогенетическая структура *P. cephalotes* во всех изученных фитоценозах петрофитных степей показывает следующие тенденции: очень мало особей в стадии проростков и ювенильном возрасте; с разными вариациями, но достаточное их количество в имматурном, виргинильном и сенильном возрастных состояниях и четко проявляется мономодальность всех спектров петрофитных степей с пиком на генеративных особях (рис. 2).

Из 6 изученных ценопопуляций только в петрофитной степи ЦП 1 (рис. 2) и в петрофитоне известняковой скалы ЦП 5 (рис. 1) были найдены проростки; в трех – ЦП 4, 5, 6 были обнаружены ювенильные растения, то есть особи самой молодой части ценопопуляции есть и в наскальном комплексе и в петрофитных степях. Закономерности динамики онтогенетической структуры наиболее четко удалось проследить на петрофитоне известняковой скалы в Синекаменке (ЦП 5): проростки и ювенильные растения успешно появляются внутри «подушек» мха, здесь взрослеют до виргинильного возраста, а с момента подключения вегетативного размножения, за счет разрастания выходят за пределы моховых локусов и занимают образовавшимися ракетами близлежащие пространства. На экотопах, где отсутствуют дерновины мха, прорастание семян происходит и в петрофитных степях, и во фригане, и в наскальных сухих комплексах в кавернах и каррах, где имеют место скопление мелких остатков мелкозема (3–5 мм в диаметре) с небольшим количеством почвы, поскольку именно здесь и были обнаружены единичные ювенильные растения (ЦП 1, 4, 6). Дальнейшее освоение ими пространства происходит по такому же типу, как и на скалах: экспансия рамет на близлежащие участки и дальнейшее распространение по всей площади, пригодной для их произрастания. У *P. cephalotes* в каждом из изученных экобиотопов имеют место тенденции, сходные с ценопопуляциями *Satureja montana* ssp. *taurica* (Velen.) P. W. Ball (*S. taurica* Velen.). Особи самых молодых возрастных состояний остаются наиболее уязвимыми и элиминируются в первую очередь как на петрофитоне скал (ЦП 2), так и в условиях

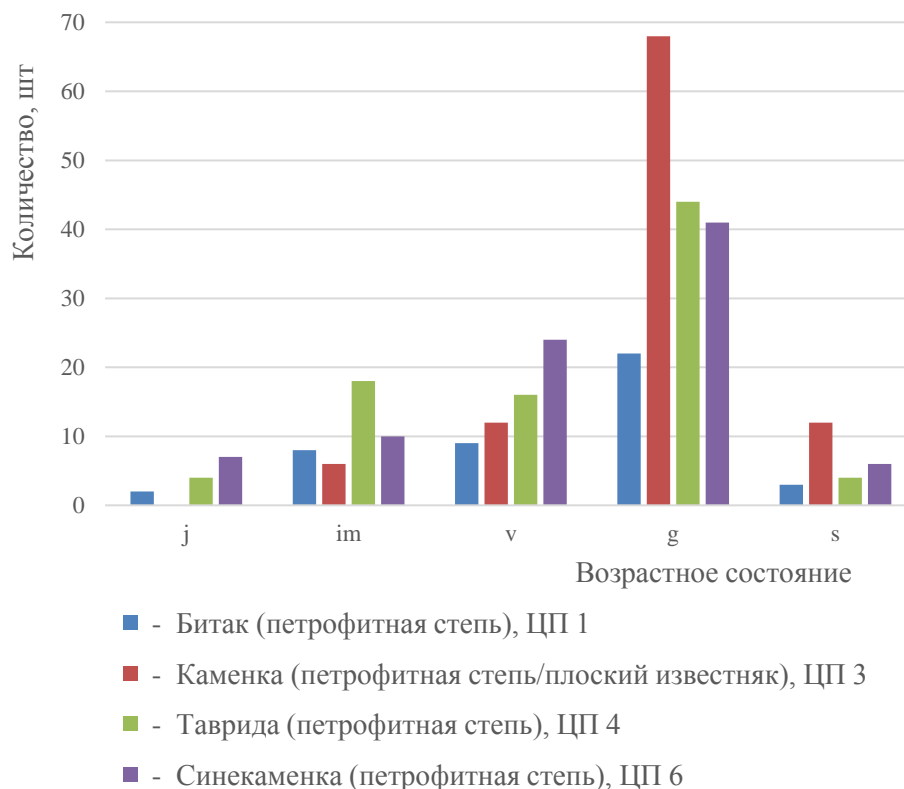


Рис. 2. Онтогенетические спектры ценопопуляций *Paronychia cephalotes* (ЦП 1, 3, 4, 6)

петрофитных степей (ЦП 3). По мере взросления особей ценопопуляции меняют к-стратегию растений прегенеративного периода на г-стратегию генеративного возраста, поэтому при появлении процессов старения особи теряют устойчивость к неблагоприятным факторам и быстро отмирают (Абдулганиева, Вахрушева, 2020). В отличие от сходного по экобиоморфе кальцепетрофита *S. montana*, особи сенильного возраста *P. cephalotes* присутствуют в небольшом количестве в пяти онтогенетических спектрах из шести ценопопуляций (кроме ЦП 5), что может свидетельствовать о большей устойчивости этого вида к произрастанию на экстремальных местообитаниях. Однако ЦП 5 является самой молодой и, возможно, ее онтогенез в данном сообществе еще не достиг той фазы популяционной волны, которая характеризуется появлением сенильных растений (индекс возрастности Δ , по А. А. Уранову, самый низкий и равен 0,21).

Расчет разнообразных онтогенетических индексов (I_v – индекс возобновляемости; I_c – индекс старения; I_r – индекс генеративности; Δ – индекс возрастности; ω – индекс эффективности), позволяет охарактеризовать общее состояние изученных ЦП, а их значения подтверждают объективность различий ценопопуляций одного вида в разных эколого-ценотических условиях (табл. 2).

Значение индекса возобновляемости является важнейшим для прогноза ее существования в будущем. В ценопопуляциях петрофитных степей (ЦП 1, 4, 6) I_v имеет среднее значение (41,5–46,6 %), однако для ЦП 3, из петрофитной степи, I_v показывает минимальное значение 18,4, что обусловлено ее произрастанием в условиях наиболее высокого антропогенного пресса (Котов, Вахрушева, Епихин, 2016). В целом экотоп известняковых скал не является оптимальным местообитанием для осуществления процессов возобновления вида, о чем свидетельствует значение этого индекса для ЦП 2 ($I_v=29,4$ %). Однако, если складываются уникальные экологические условия, подобные скальному экотопу в окрестностях села Синекаменка (ЦП 5), тогда процессы возобновляемости протекают наиболее успешно и этот индекс достигает в данной выборке наибольшего значения ($I_v=63,0$). Индексы старения (I_c) показывают те же закономерности для изученных ЦП, но имеют значения противоположной направленности: если высок I_v , то низким будет I_c и наоборот (табл. 2).

ЦП 3, находящаяся в зоне сильнейшего антропогенного воздействия, имеет самый высокий индекс генеративности ($I_r=69,4$), который подтверждает наибольшую устойчивость этой возрастной группы для выживания в самых экстремальных условиях, поскольку устойчивость малых популяций редких видов определяется именно значениями коэффициента генеративности (Злобин и др., 2013).

Тип ценопопуляций в системе классификации «дельта-омега» был определен на основании рассчитанных показателей Δ и ω . Согласно этой классификации, изученные ценопопуляции разместились условно в трех группах (рис. 3): молодые (ЦП 5, 6), приближающиеся к переходным (ЦП 1, 4) и переходные к зрелым (ЦП 2, 3). На конечных полюсах их графического положения находятся ЦП 5 – самая молодая, имеющая заметный резерв в левосторонней части спектра и ЦП 3, в которой *P. cephalotes* для выживания в условиях антропогенного пресса, включила разнообразные механизмы устойчивости, наиболее эффективным из которых оказался индекс генеративности.

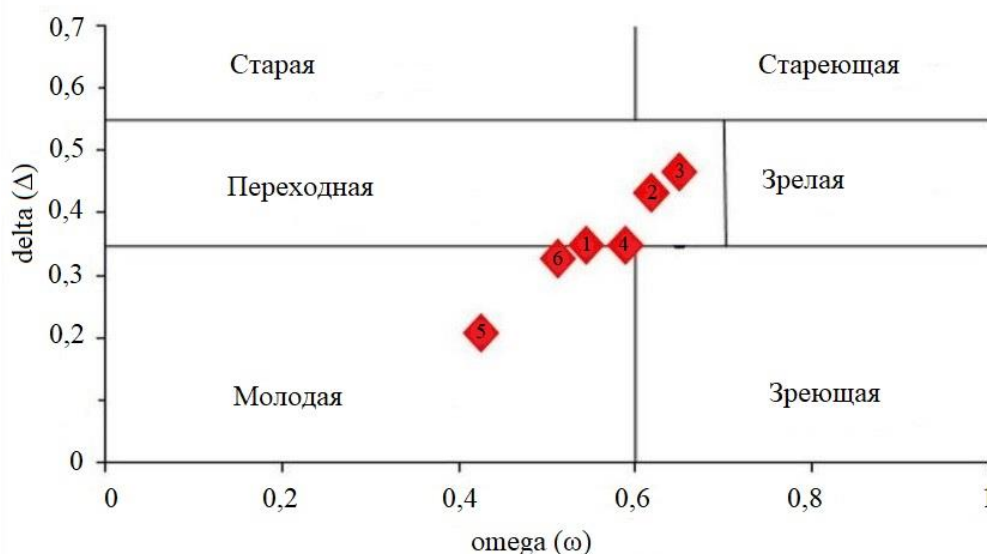
Важным дополнением к популяционным сведениям о виде для его комплексной характеристики являются анатомические исследования органов растений. Они позволяют на микроструктурном уровне выявить возможные пути адаптивной специализации к условиям естественного обитания, а в отдельных случаях – установить недостающие таксономические признаки. Одним из наиболее информативных признаков для выявления адаптаций растений к экотопу является изучение анатомической структуры листа (Соболевская, 1977).

На поперечном сечении листовая пластинка *P. cephalotes* овальной формы, ее толщина $369,2 \pm 7,1$ мкм. Лист покрыт однослойным эпидермисом с хорошо развитой кутикулой, толщина которой составляет $2,9 \pm 0,7$ мкм. На поперечных срезах основные эпидермальные клетки адаксиальной и абаксиальной сторон листа округлой или вытянутой вдоль

Таблица 2

Показатели онтогенетических индексов для разных типов ценопопуляций

Ценопопуляция	Онтогенетические индексы			Индекс возрастности Δ	Индекс эффективности ω	Тип популяции по классификации «дельта- омега»
	I_b (%)	I_c (%)	I_r (%)			
ЦП 1	43,2	22,7	50,0	0,4	0,6	молодая
ЦП 2	29,4	29,4	58,8	0,4	0,7	переходная
ЦП 3	18,4	34,7	69,4	0,5	0,7	переходная
ЦП 4	41,5	21,9	53,7	0,4	0,6	молодая
ЦП 5	62,9	11,1	37,0	0,2	0,4	молодая
ЦП 6	46,6	21,6	46,6	0,3	0,6	молодая

Рис. 3. Ценопопуляции *Paronychia cephalotes* в классификации «дельта-омега»

поверхности листа формы с равномерно утолщенными стенками (рис. 4). Ширина клеток эпидермиса в среднем составляет $25,9 \pm 2,0$ мкм, а высота клеток – $21,8 \pm 1,0$ мкм. Толстостенные эпидермальные клетки, в совокупности с хорошо развитой кутикулой, снижают уровень кутикулярной транспирации, что является одним из структурных приспособлений растений к существованию в условиях дефицита влаги.

Лист амфистоматический (устыща почти в одинаковом количестве имеются на обеих сторонах листа). Число устьиц на верхней эпидерме в 1 мм^2 в среднем $178,0 \pm 20,8$ шт., на нижней – $181,0 \pm 13,0$ шт., что лежит в пределах диапазона числа устьиц мезофитных экоморф. Считается, что с верхней стороны листа устьиц много, а с нижней – среднее количество (Васильев, 1988). Устьичный аппарат нижнего и верхнего эпидермиса аномоцитный, устьица

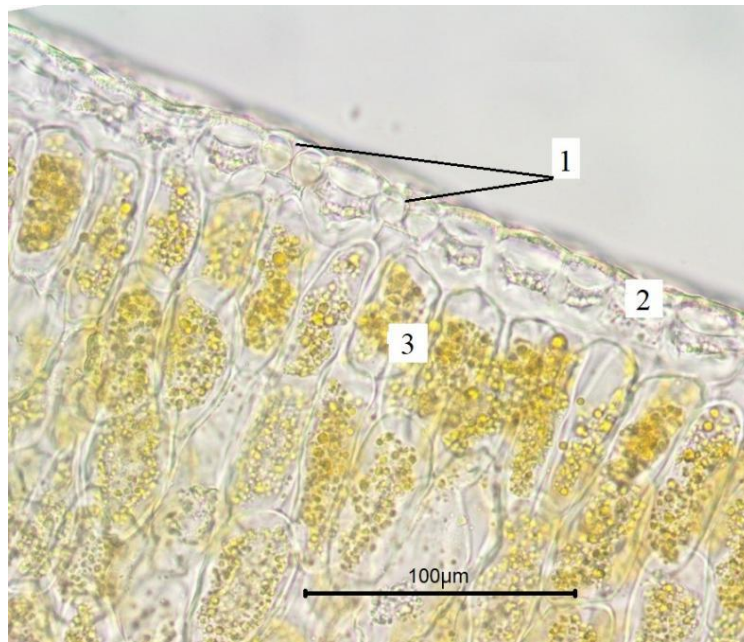


Рис. 4. Эпидермальные клетки листа *Paronychia cephalotes* на поперечном срезе (фото В. В. Николенко)

1 – устьица; 2 – эпидермис; 3 – мезофилл.

окружены 3–5 побочными клетками, которые по форме и размерам не отличаются от основных клеток эпидермы. Устьица располагаются на уровне эпидермальных клеток, имеют вытянуто-округлую форму.

При изучении листовых пластинок *P. cephalotes* разных ценопопуляций в пределах разновозрастных групп растений нами было установлено наличие листьев с тремя типами опушения: листья, имеющие трихомы только по периферии листовой пластинки; по всей поверхности; с абаксиальной стороны. Закономерностей в наличии трихом, связанных с положением листа на побеге и временем его формирования, не выявлено. Этот вопрос требует дополнительных наблюдений, так как опушение листовой пластинки является важным систематическим признаком. Трихомы листа довольно крупные $92,1 \pm 3,4$ мкм (рис. 5), имеют однотипное строение: расширенное цилиндрическое основание и зауженную шиловидную апикальную часть.

Большая часть исследованных листьев имеет мезофилл многослойный, дифференцированный, изолатерального типа, плотный с невыраженными межклетниками (рис. 6). Палисадная паренхима двух-трёхслойная с верхней стороны и одно-двухслойная с нижней. Клетки палисады овальные, вытянуты перпендикулярно поверхности листа. Средняя часть листовой пластинки занята губчатым мезофиллом, состоящим из плотно расположенных, изодиаметрических, округлых, иногда лопастных клеток. В некоторых клетках губчатой паренхимы листа отмечены друзы. В целом, мезофилл плотный, с небольшими межклетниками, что является ксероморфной чертой. Формирование многослойной палисады *P. cephalotes*, обусловлено экотопом вида: растение предпочитает открытые каменистые местообитания и является гелиофитом.

Центральная жилка тянется вдоль всей листовой пластинки и представлена закрытым коллатеральным пучком со слабовыраженной обкладкой. Медианная и латеральные жилки погружены в мезофилл и не образует выступ на абаксиальной стороне листа. Проводящие элементы ксилемы со значительно утолщёнными клеточными стенками и с хорошо развитыми склеренхимными волокнами, которые армируют лист. При этом флоэма практически лишена механических элементов, лишь в некоторых случаях было отмечено присутствие единичных склеренхимных волокон снаружи флоэмы. Латеральные жилки хорошо развиты.

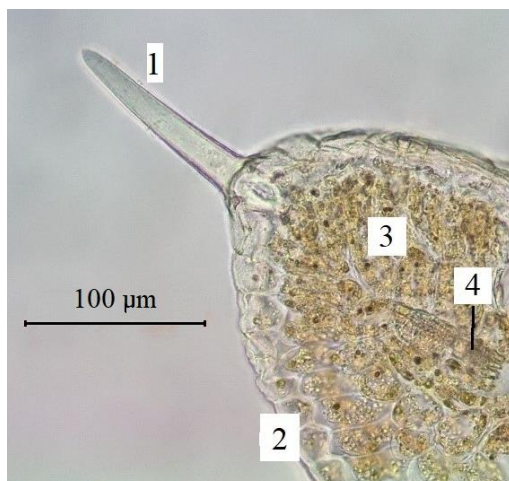


Рис. 5. Простые трихомы края листовой пластинки *Paronychia cephalotes* (фото В. В. Николенко)

1 – трихома; 2 – эпидермис; 3 – мезофилл; 4 – проводящий пучок.

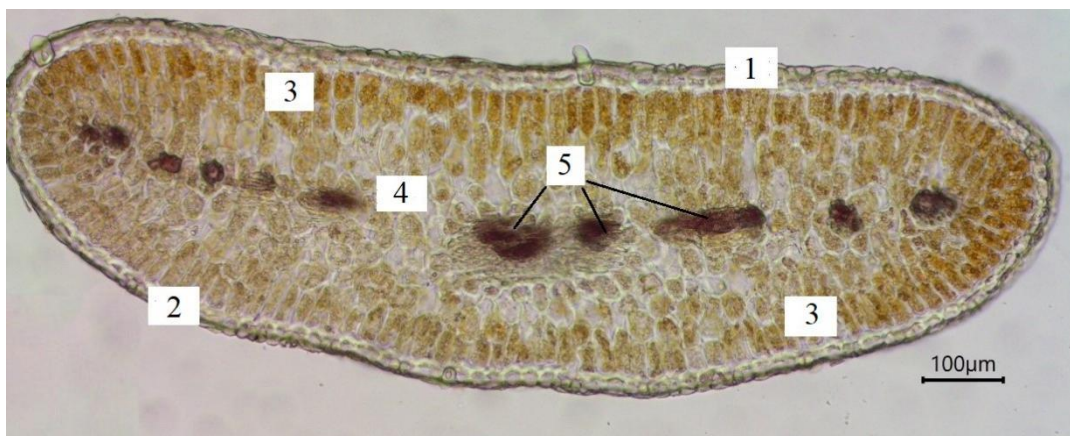


Рис. 6. Изолатеральный лист *Paronychia cephalotes* (фото В. В. Николенко)

1 – верхний эпидермис; 2 – нижний эпидермис; 3 – столбчатый мезофилл; 4 – губчатый мезофилл; 5 – проводящий пучок.

Связь анатомических признаков растений с факторами среды носит комплексный характер, показывает амплитуду адаптивных реакций вида и их выражение через внутреннюю структуру растения (Горышина, 1979; Тимонин, Нотов, 1993). Проведенные исследования *P. cephalotes* показали, что лист сочетает ксероморфные и мезоморфные черты, но с преобладанием ксероморфных признаков: толстый слой кутикулы, утолщение клеточных стенок эпидермы, склерификация проводящего пучка, плотно расположенные клетки мезофилла. Преобладание черт ксероморфной структуры – адаптация к уменьшению испарения, что является *ключевым свойством* для растений, обитающих на щебнистых, слабо удерживающих влагу, почвах. Поскольку *P. cephalotes* растет чаще всего на открытых, хорошо освещенных участках многие черты ксероморфной организации – это одновременно черты световой структуры листа. Так, у *P. cephalotes* листья имеют мощную, иногда многорядную палисадную паренхиму, часто расположенную с обеих сторон (изопалисадные листья). Наличие ксероморфных черт в анатомической структуре листа обеспечивает успешное произрастание в условиях дефицита увлажнения и избытка солнечного света – это ЦП 1, 2, 3, 4, 6. При этом мезоморфные черты в структуре листового аппарата *P. cephalotes* позволяют растениям в ЦП 5 развивать комплекс популяционных и анатомических признаков,

обеспечивающих достаточно успешное их существование в условиях тени и почти оптимальной влажности. Таким образом, проведенные нами исследования анатомической структуры листа подтвердили принадлежность *P. cephalotes* к экоморфе мезоксерофитов, что указывалось В. Н. Голубевым (1996) на основании анализа экобиоморфных признаков растения и свойств местообитания.

Было изучено также анатомическое строение стебля и корня. Стебель в поперечном сечении имеет округлую форму, покрыт эпидермой с хорошо развитой кутикулой (рис. 7). Эпидермальные клетки довольно крупные, с равномерно утолщёнными периклинальными стенками. На поверхности отмечены немногочисленные простые одноклеточные кроющие трихомы. Субэпидермально расположена первичная кора, один-два наружных слоя которой выполнены хлоренхимой. Кортикальная паренхима представлена изодиаметрическими, тонкостенными клетками с небольшими межклетниками и не выраженным крахмалоносным влагищем. Вторичные ксилема и флоэма располагаются сплошным кольцом. Сосуды ксилемы тонкостенные, узкопросветные, диффузная паренхима ксилемы слабо развита, сердцевинные лучи отсутствуют. Основной объём древесины стебля занимают хорошо развитые волокна либриформа. Сердцевина представлена крупными изодиаметрическими, тонкостенными, рыхло расположенными клетками паренхимы, с выраженной перимедулярной зоной. Некоторые клетки паренхимы первичной коры и сердцевины стебля содержат кристаллические друзы.

Вдоль побега сверху-вниз имеют место структурные изменения в стебле, связанные с возрастанием интенсивности камбиальной деятельности. В междоузлиях средних участков молодого вегетативного побега наружный слой первичной коры выполнен одним-двумя рядами хлоренхимы. По периферии флоэмы видны небольшие группы склеренхимных волокон перициклического происхождения.

Более существенные анатомические преобразования происходят в базальных метамерах побегов, которые обусловлены не только деятельностью васкулярной меристемы, но и заложением феллогена, формирующего перидерму (рис. 8). Перидерма закладывается

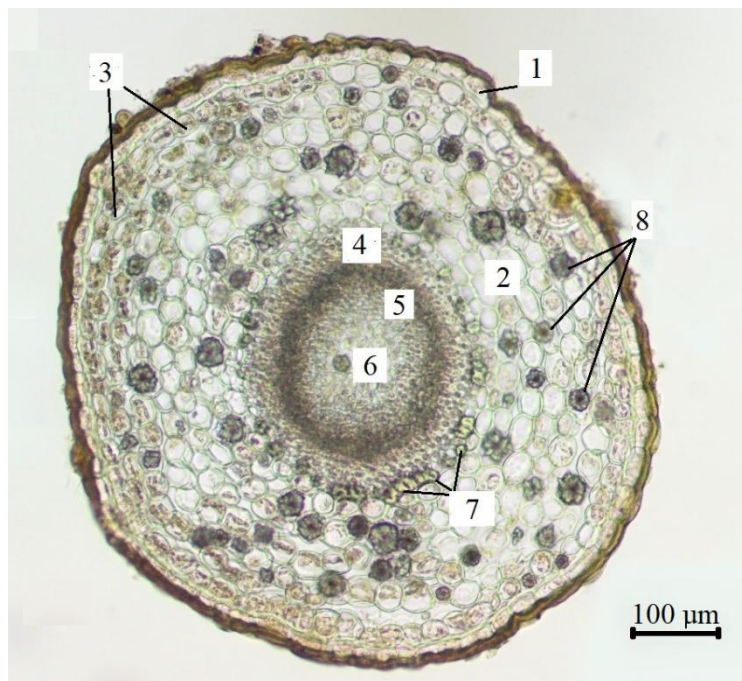


Рис. 7. Поперечный срез стебля средней части побега *Paronychia cephalotes*
(фото В. В. Николенко)

1 – эпидерма; 2 – первичная кора; 3 – хлоренхима; 4 – флоэма; 5 – ксилема; 6 – сердцевина; 7 – склеренхима; 8 – друзы.

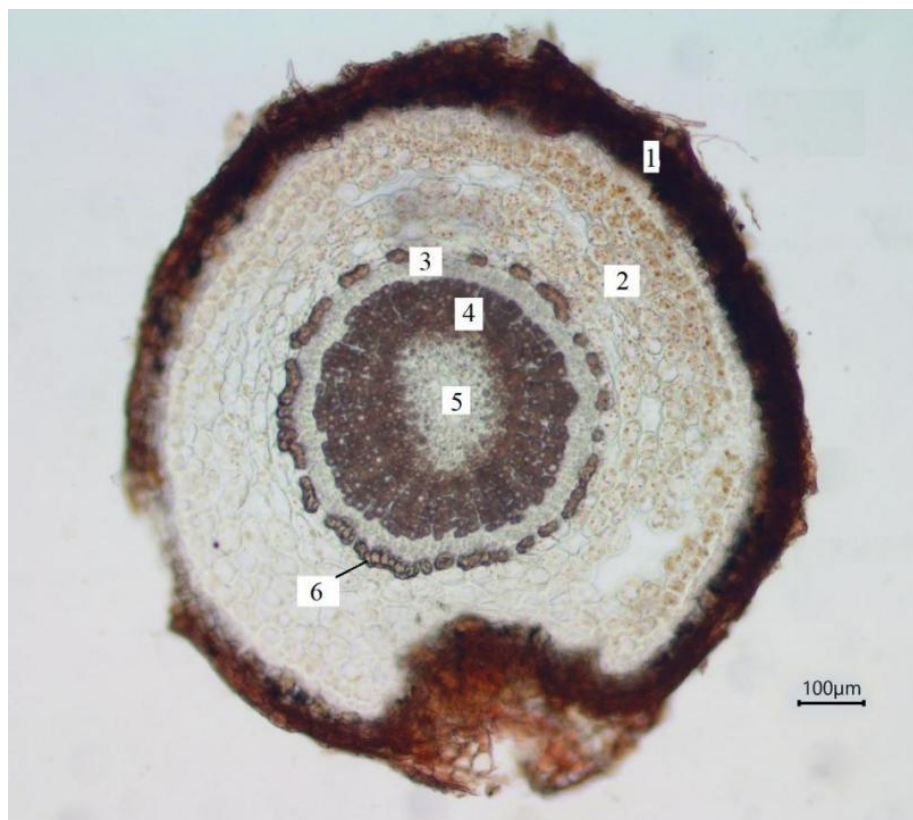


Рис. 8. Поперечный срез стебля базальной части побега *Paronychia cephalotes* (фото В. В. Николенко)

1 – перидерма; 2 – первичная кора; 3 – флоэма; 4 – ксилема; 5 – сердцевина; 6 – склеренхима.

субэпидермально, её наружные клетки расположены правильными радиальными рядами. Клетки перицикла одревесневают, формируя сплошное кольцо, окружая центральный цилиндр. Вторичная ксилема существенно увеличивается в объёме. Совокупность хорошо развитых механических элементов базальной части стебля обеспечивают его прочность. В паренхиме первичной коры появляются более крупные межклетники и воздушные полости. Друзы в большем объёме были отмечены на более молодых участках стебля, в кортикальной паренхиме базальной части побега они встречаются единично.

Такие структурные особенности строения стебля, как многолетнее одревесневающее основание генеративных побегов, представленное только нижними междуузлиями, характерно для полукустарничков (Беспалова, 1965). Таким образом, анализ анатомической структуры разных участков побега доказывает с необходимой точностью принадлежность *P. cephalotes* к биоморфе полукустарничков, являющихся одними из важнейших компонентов петрофитных степей и наскальных растительных группировок.

Корень *P. cephalotes* в поперечном сечении имеет округлую форму. Молодой корень покрыт ризодермой с вытянутыми в тангентальном направлении клетками, наружные стенки которых сильно утолщены. По мере развития корня ризодерму заменяет вторичная покровная ткань – перидерма (рис. 9). Под покровной тканью располагаются остатки первичной коры, далее лежит флоэма. Все гистологические элементы этой ткани не одревесневшие. За камбием располагается вторичная ксилема, в которой хорошо просматриваются 5–6 слоёв прироста, обусловленных сезонной ритмичностью работы камбия. Широкопросветные трахеальные элементы ксилемы чередуются с узкопросветными. Диффузная паренхима древесины слабо развита, сердцевинные лучи однорядные, гомогенные. Основной объём вторичной ксилемы занимают хорошо развитые волокна либриформа. В центре корня расположена первичная двулучевая ксилема.

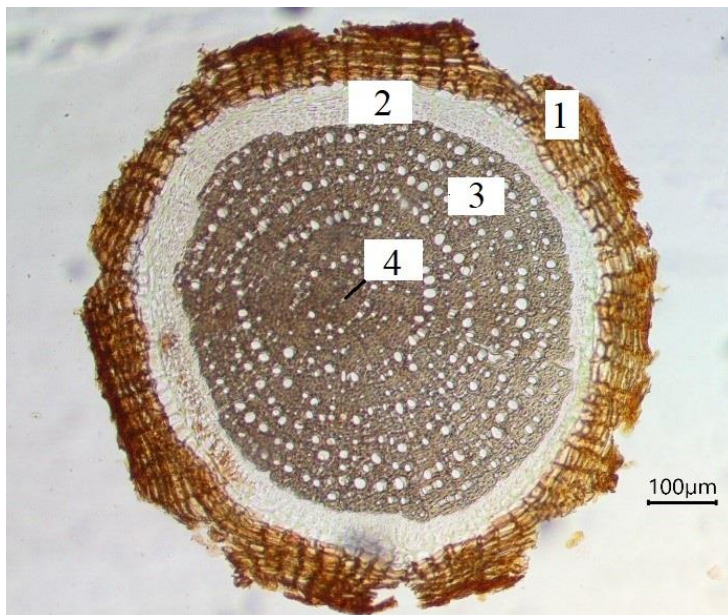


Рис. 9. Поперечный срез главного корня *Paronychia cephalotes* (фото В. В. Николенко) 1 – перидерма; 2 – вторичная флоэма; 3 – вторичная ксилема; 4 – первичная ксилема.

Таким образом, характер анатомической структуры осевых вегетативных органов, показывает принадлежность *P. cephalotes* к полкустарничкам – биоморфе, наиболее приспособленной к жизни на щебнистых экотопах и на скальных поверхностях горных пород.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все изученные ценопопуляции *P. cephalotes*, произрастающие в условиях крымского предгорья, показали достаточную степень адаптивности к разнообразным экологическим (щебнистые экотопы петрофитных степей, ксерофитные и мезофитные условия известняковых скал) и ценотическим (разнообразный петрофитон и петрофитные степи) условиям, в составе которых исследуемый вид проявлял фитоценотическую роль содоминанта или ассектатора.

Онтогенетические спектры всех изученных ценопопуляций *P. cephalotes*, произрастающих в петрофитных степях, являются мономодальными с заметным преобладанием генеративных особей, в большинстве своем неполночленными, что чаще всего обусловлено отсутствием проростков и ювенильных особей, как единичный случай – сенильных.

Стратегия ценопопуляций *P. cephalotes* на скальных экотопах (ЦП 2, 5) определяется не только географическими условиями местности, но преимущественно зависит от микроэкологического и ценотического комплекса экобиотопов, в соответствии с которыми ЦП включают разнообразные механизмы адаптивности для реализации выживаемости.

Изученные ценопопуляции, независимо от типа фитоценоза, достигают устойчивости численности, плотности и онтогенетического разнообразия через регуляцию процессов генеративного и вегетативного размножения, что подтверждается значениями индексов возобновляемости и генеративности. ЦП 3 (петрофитная степь, Симферопольский р-он, окрестности с. Каменка), находящаяся в наиболее жестких условиях антропогенного воздействия, когда практически невозможно семенное самоподдержание (самый низкий I_v), сформировала компенсаторную устойчивость через достижение самых высоких значений всех других онтогенетических индексов (I_c , I_r , Δ , ω).

По классификации «дельта-омега» изученные ценопопуляции принадлежат к трем группам: молодые (ЦП 5, 6), приближающиеся к переходным (ЦП 1 и 4) и типичные,

переходные к зрелым (ЦП 2, 3), что является отображением фазы популяционной волны проживаемой соответствующей ценопопуляцией в момент исследования.

Все ценопопуляции имеют контагиозный тип пространственного размещения особей, зависящий преимущественно от неоднородности эдафотопа и взаимоотношений с другими компонентами фитоценозов.

Анатомическими исследованиями вегетативных органов *P. cephalotes* показана принадлежность исследуемого вида к экологической группе ксеромезофитов и биоморфе полукустарничков. Сведения об анатомической структуре вегетативных органов *P. cephalotes* позволяют дополнить комплексную характеристику охраняемого вида и расширить общетеоретические сведения о семействе Cariophyllaceae.

Разнообразие выявленных нами популяционно-анатомических адаптаций позволяет *P. cephalotes* использовать разнообразные варианты их сочетаний в процессе приспособления к широкому диапазону условий эко- и биотопов, что указывает на необходимость сохранения всех мест обитания этого редкого вида в Крыму.

Список литературы

- Абдулганиева Э. Ф. Онтоморфогенез и структура ценопопуляций *Crepis purpurea* (Willd.) M. Bieb. в Крыму // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2020. – Том 6 (72), № 3. – С. 3–17.
- Барыкина Р. П., Веселова Т. Д., Девятов А. Г. Справочник по ботанической микротехнике. – М.: МГУ, 2004. – 331 с.
- Беспалова З. Г. О жизненной форме «полукустарничек» // Проблемы современной ботаники. – 1965. – Т. 2. – С. 65–69.
- Брынза Е. А. Состояние двух ценопопуляций *Onobrychis palassii* (Willd.) M. Bieb // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2014. – Вып. 110. – С. 20–25.
- Васильев Б. Р. Строение листа древесных растений различных климатических зон. – Л.: Издательство Ленинградского университета, 1988. – 208 с.
- Вахрушева Л. П., Абдулганиева Э. Ф. Морфологические признаки возрастных состояний и онтогенез *Hedysarum tauricum* Pall. ex Willd. // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2015. – Т. 1 (67), № 2. – С. 27–35.
- Вахрушева Л. П., Заднепровская Е. В. Онтогенез *Salvia scabiosifolia* Lam. в фитоценозах Предгорного Крыма // Экосистемы. – 2018. – Вып. 14 (44). – С. 42–50.
- Вахрушева Л. П., Абдулганиева Э. Ф. Гетерогенность структуры ценопопуляций *Satureja montana* subsp. *taurica* (Velen.) P. W. Balll [*Satureja taurica* Velen.] в различных экотопах предгорного Крыма // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2020. – Т. 6 (72), № 1. – С. 3–13.
- Вахрушева Л. П., Николенко В. В. *Draba cuspidata* Bieb. – редкий вид флоры Горного Крыма: биоморфология, анатомия, перспективы охраны // Материалы Международной научно-практической конференции «Редкие виды живых организмов: проблемы, перспективы и уровни охраны» // Вестник Тамбовского университета. Серия: естественные и технические науки», 2017. – Т. 22, вып. 5. – С. 850–855.
- Вахрушева Л. П., Петришина Н. Н., Павшенко Д. А. Популяционные и анатомо-морфологические исследования *Euphorbia paralias* L. на псаммофитном местообитании юга Керченского полу острова // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия, 2020. – Т. 6 (72), № 2. – С. 13–32.
- Выработка приоритетов: новый подход к сохранению биоразнообразия в Крыму. Результаты программы «Оценка необходимости сохранения биоразнообразия в Крыму», осуществленной при содействии Программы поддержки биоразнообразия BSP. – Вашингтон, США: BSP, 1999. – 259 с.
- Голубев В. Н. Биологическая флора Крыма. – Ялта: НБС-ННЦ, 1996. – 86 с.
- Горышина Т. К. Экология растений. – М.: Высшая школа, 1979. – 368 с.
- Жукова Л. А., Многообразие путей онтогенеза в популяциях растений // Экология. – 2001. – № 3. – С. 169–176.
- Животовский Л. А. Онтогенетические состояния, эффективная плотность и классификация популяций растений // Экология. – 2001. – № 1. – С. 3–7.
- Злобин Ю. А., Скляр В. Г., Клименко А. А. Популяции редких видов растений: теоретические основы и методика изучения. – Сумы: Университетская книга, 2013. – 439 с.
- Красная книга Республики Крым. Растения, водоросли и грибы / [Отв. ред. д. б. н., проф. А. В. Ена и к. б. н. А. В. Фатерыга]. – Симферополь: ООО «ИТ «Ариал», 2016. – 480 с.
- Красная книга города Севастополя. – Калининград – Севастополь: ИД «РОСТ-ДОАФК», 2018. – 432 с.
- Красная книга Краснодарского края. Растения и грибы / [Отв. ред. С. А. Литвинская]. Краснодар: Администрация Краснодарского края, 2017 – 850 с.

Красная книга Российской Федерации. Растения и грибы / [Гл. ред. Ю. Т. Трутнев]. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. – 885 с.

Коваленко І. М. Структура популяцій домінантів трав'яно-чагарничкового ярусу в лісових фітоценозах Деснянсько-Старогутського національного природного парку. Онтогенетична структура // Український ботанічний журнал. – 2005. – Т. 62, № 5. – С. 707–714.

Котов С. Ф., Вахрушева Л. П., Епихин Д. В. Почвы и растительный покров полигона твердых коммунальных отходов города Симферополь // Экосистемы, 2016. – Вып. 8. – С. 16–35.

Лакин Г. Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа, 1980. – 293 с.

Летухова В. Ю., Потапенко И. Л. Популяционный анализ рода *Ophrys* на территории ботанического заказника Тепе-оба // Юг России: Экология, развитие. – 2017. – Т. 12, № 4. – С. 71–78.

Новости ООН. Глобальный взгляд Человеческие судьбы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://news.un.org/ru> (просмотрено: 01.07.2023).

Одум Ю. Экология. – М.: Мир, 1986. – Т. 1 – 328 с.

Примак Р. Б. Основы сохранения биоразнообразия. – М.: НУМЦ, 2002. – 256 с.

Прозина М. Н. Ботаническая микротехника. – М.: Высшая школа, 1960. – 206 с.

Работнов Т. А. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах // Труды Ботанического института им. В. А. Комарова. – 1950. – Сер. 3. – Вып. 6. – С. 7–204.

Соболевская К. А. Пути и методы интродукции растений природной флоры в Сибири // Интродукция растений Сибири. – Новосибирск: Наука, 1977. – С. 3–28.

Тимонин А. К., Нотов А. А. Большой практикум по экологической анатомии покрытосеменных растений. – Тверь: Издательство Тверского университета, 1993. – 106 с.

Уранов А. А., Богданова А. Г., Григорьева Н. М. Ценопопуляции растений (развитие и взаимоотношения). – М.: Наука, 1975. – 136 с.

Шенников А. П. Введение в геоботанику. – СПб: Издательство Ленинградского университета, 1964. – 447 с.

Borhidi A. The variability range of *Paronychia cephalotes* (M. B.) Bess. and new data to the knowledge of South-European *Paronychia* species // Acta Botanica, 1966. – Т. 12. – P. 33–40.

Convention on Biological Diversity [electronic resource]. – <https://www.cbd.int/convention/>

Meffe G. K., Carroll C. R. Principles of conservation biology. – 1994. – 600 p.

Schweingruber F. H. Stem anatomy of Caryophyllaceae // Flora. – 2007. – Vol. 202 – P. 281–292.

Schweingruber F., Börner A. The Plant Stem. – Springer, 2018 – 207 p.

Schweingruber F., Börner A., Schulze E. Atlas of Stem Anatomy in Herbs, Shrubs and Trees. Springer, 2011. – 503 p.

Seibold S. Über die Größe von Populationen höherer Pflanzen // Jahreshefte der Gesellschaft für Naturkunde in Württemberg. – 1980. – Vol. 135. – P. 252–254.

Vakhrusheva L. P., Abdalganieva E. F., Akhkiyamova G. R., Shichiyakh R. A., Avdeev Yu. M. Morphological and anatomical features of age status of *Scutellaria stevenii* Juz. (*Scutellaria orientalis* subsp. *orientalis*) in phytocoenoses of the Crimea Foothills // Periodico Tche Quimica. – 2020. – Vol. 17, N 35. – P. 1196–1206.

Vakhrusheva L. P., Nikolenko V. V., Petrishina N. N., Kotov S. F. Structural and coenotical features of coenopopulations and anatomical structure of vegetative organs *Paronychia cephalotes* (M. Bieb.) Besser // Ekosistemy. 2023. Iss. 36. P. 234–247.

The article presents the results of studying six coenopopulations of *Paronychia cephalotes* (M. Bieb.) Besser, which grow in petrophytic steppes and on the petrophyton of limestone cliffs in the foothills of Crimea. In case when *P. cephalotes* is a codominant (projective cover 7 % or more), then the density is $3,4 \pm 1,2$ per 1 m^2 (Coenopopulations (CP) numbered 17–98 specimens); if the species is an assectator (coverage 1,0 %), then the density is $0,9 \pm 0,6$ individuals per 1 m^2 . All CPs have a contagious type of spatial structure, forming monomodal (peak on generative individuals), predominantly incomplete spectra. According to the “delta-omega” classification the cenopopulations belong to young (CP 5, 6), borderline young-transitional (CP 1 and 4) and typical transitional to mature ones (CP 2 and 3). Some data on the anatomical structure of the vegetative organs of *P. cephalotes* were obtained for the first time. They are an important addition to general theoretical information about the intrastructural organization of the genera of the family Caryophyllaceae and made it possible to prove that the studied species belongs to the ecological group of xeromesophytes and the biormorph of subshrubs.

Key words: *Paronychia cephalotes*, coenopopulation, protected species, spatial structure, ontogenetic structure, anatomical structure, Crimea.

Поступила в редакцию 29.11.23

Принята к печати 01.12.23

УДК 628.473.2

DOI 10.5281/zenodo.10389791

Ускоренная переработка отходов животноводства с использованием микробного консорциума в суспензионной и иммобилизованной формах

Ржевская В. С.¹, Омельченко А. В.¹, Бугара И. А.¹, Омельченко С. О.^{1,2}

¹ Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского
Симферополь, Россия
viktoriyar45@mail.ru, omelchenko_tnu@mail.ru, bia.05@mail.ru

² Крымский республиканский институт постдипломного педагогического образования
Симферополь, Россия
svet.omelchenko@mail.ru

Представлены результаты исследований процесса компостирования отходов животноводства с использованием микробного консорциума в суспензионной и иммобилизованной (смешанной с сорбентом – биочаром) формах. Установлена роль погодных условий в процессе компостирования отходов животноводства. Использование микробного консорциума молочнокислых бактерий, микроскопических и дрожжевых грибов в суспензионной и иммобилизованной формах ускоряло процесс переработки отходов животноводства, способствовало уменьшению объема компостируемой массы на 50–70 %, устранению запаха на 5 сутки и изменению цвета отходов животноводства на 17 сутки, в то время как в контрольном варианте, такой же результат был отмечен через 10 месяцев. Компост, полученный с микробным консорциумом, по содержанию токсичных элементов, а также ветеринарно-санитарным и гигиеническим показателям не превышает ПДК, а по содержанию органического вещества и NPK соответствует требованиям ГОСТ 33930-2016. Внесение микробного консорциума ускоряло процесс минерализации органического вещества и способствовало увеличению содержания общего азота на 21,6–25,9 %, по сравнению с контролем. При использовании иммобилизованной формы консорциума микроорганизмов в готовом компосте выявлено увеличение содержания аммиачного азота в 1,6 раз, в то время как в контрольном варианте аммиачный азот не обнаружен. Форма внесения микробного консорциума оказывала влияние на содержание фосфора и калия. При использовании суспензионной формы содержание фосфора на 2,2 %, а калия на 5,3 % выше, чем в контроле, а иммобилизованной – на 15,7 % и 8,8 % соответственно.

Ключевые слова: побочные отходы животноводства, переработка органических отходов, микробный консорциум, компостирование, суспензионная и иммобилизованная форма препарата.

ВВЕДЕНИЕ

Переработка побочных продуктов животноводства обусловлена их негативным влиянием как источника вредных выбросов на атмосферу, грунтовые воды, почву. Эффективным и доступным подходом к переработке органических отходов является компостирование с внесением микробных препаратов. Использование микроорганизмов приводит к получению компоста, внесение которого повышает уровень ферментативной активности почвы, активизирует микробный ценоз, расширяет видовой состав почвенной микрофлоры (Черданцева, Гаврилова, 2016).

Микробные препараты, используемые для переработки органических отходов, в большинстве случаев представлены в виде двух форм – жидкой и сухой (Рассолов и др., 2015). Жидкие микробные препараты являются суспензией, включающей микроорганизмы и их метаболиты (Теучеж, 2017; Чехунов и др., 2020). Сухие препараты могут быть получены смешиванием суспензии микроорганизмов с сорбентом, например, диоксидом кремния (Ходак и др., 1988), пористым носителем (водорастворимой бумагой) (Миرونин и др., 2020) и другие. Перспективным подходом к получению микробных препаратов является иммобилизация на твердом носителе. Клетки, иммобилизованные на твердом носителе, или в его внутренних структурах, менее подвержены отрицательному действию окружающей среды по сравнению со свободными микроорганизмами, что может повысить их жизнеспособность и эффективность.

Известны различные твердые носители для микроорганизмов, отличающиеся по своей структуре и свойствам: наличием реакционноспособных функциональных групп, легкости вступления в различные химические реакции, гидрофильности и так далее. Для иммобилизации клеток микроорганизмов используются такие неорганические носители, как монтмориллонит, палыгорскит, пористый фарфор, слюда, диатомит, размолотая пемза, пористое стекло, стеклянные шарики, керамические носители, древесная щепа, волокна из целлюлозы и ее производных, активированный древесный уголь, искусственные полимеры и другие. Кроме того, использование в качестве матриц для иммобилизации таких материалов как альгинат, пектат, каррагинин, κ -каррагинин, хитозан, агар и синтетических полимеров (полиакриламида, поливинилхлорида, полиуретана) позволяет провести иммобилизацию в очень мягких условиях, не нарушая целостности живых клеток (Демаков и др., 2008; Крякунова, Канарский, 2012).

Одним из эффективных твердых носителей для иммобилизации микроорганизмов является биочар (биоуголь), который получают путём пиролиза древесных остатков, сельскохозяйственных и пищевых отходов (Sushkova et al., 2021). Биочар имеет пористую углеродсодержащую структуру, обладающую повышенной способностью удерживать различные вещества как питательные, так и загрязняющие, а также микроорганизмы или ферменты (Jatav, 2021).

Цель исследований – изучить эффективность использования суспензионной и иммобилизованной форм внесения микробного консорциума для ускорения процесса компостирования отходов животноводства.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для подготовки суспензионной и иммобилизованной форм микробного консорциума использовали микроорганизмы *Lactobacillus parabuchneri* B-13109, *Lactobacillus harbinensis* B-13111, *Candida ethanolica* Y-4357, *Pseudoclavibacter helvolus* B-13899, *Rhodospseudomonas palustris* B-14279, *Trichoderma asperellum* F-1527, которые депонированы во Всероссийской коллекции промышленных штаммов микроорганизмов (г. Москва). Культивирование микроорганизмов проводили на соответствующих питательных средах: молочнокислые бактерии – на среде MRS (Strafella et al., 2021), грибы – на среде Сабуро, штаммы *P. helvolus* B-13899 и *R. palustris* B-14279 – на жидкой среде Ормеруда (Ormerod, 1961).

Микробный консорциум получали путем совместного культивирования молочнокислых бактерий и дрожжей в жидкой питательной среде MRS в биореакторе Minifors 2 объемом 4 л (Ifors НТ, Швейцария) при температуре 32 °С и 50 об/мин в течение 3-х суток. Учет численности микроорганизмов в консорциуме проводили методом предельных разведений. Биологическая концентрация бактерий микробного консорциума составляла $4,8 \cdot 10^9$ КОЕ.

Мицелиальный гриб культивировали на скошенном агаре Сабуро 14 суток, смыв проводили стерильной дистиллированной водой. Смыв гриба, содержащего смесь спор и фрагментов мицелия ($1,7 \cdot 10^9$ КОЕ/мл), в количестве 1 мл вносили в 100 мл суспензии, содержащей микробный консорциум молочнокислых бактерий и дрожжей.

В качестве твердого носителя для иммобилизации микроорганизмов использовали биочар, который был получен из шелухи подсолнечника путём пиролиза (Sushkova et al., 2021).

Для иммобилизации клеток, микроорганизмы, входящие в консорциум, культивировали до наступления стационарной фазы роста. Далее из 4 л питательной среды путем центрифугирования при 5000 g, температуре +4 °С и времени 30 мин клетки отделяли и смешивали со стерильным биочаром в количестве 10 г. Биомассу микробных клеток с биочаром высушивали в термостате при 28 °С в течение 5 дней.

Эффективность использования суспензионной и иммобилизованной форм внесения консорциума микроорганизмов проводили на примере компостирования побочных продуктов животноводства – подстилочном навозе крупного рогатого скота, содержащем 5–10 % соломы. Отходы животноводства были получены от коров, получавших в питание силос.

Компостирование отходов животноводства проводили на территории учебно-научного технологического комплекса животноводческого центра Института Агротехнологическая академия (структурное подразделение) «КФУ им. В.И. Вернадского», Симферопольский район, с. Солнечное, координаты 45.041257, 34.08553.

Для этого из свежих отходов крупного рогатого скота были сформированы 3 кагата (бурта) высотой до 1 м, шириной 1,5 м и длиной от 3 м до 4 м, объем одного кагата – 10 м³. Один бурт оставили контрольным, во второй и третий вносили микробный консорциум соответственно, в виде суспензионной (1 л на 10 тонн) и иммобилизованной формы (10 г на 10 тонн). Каждый кагат после внесения микроорганизмов тщательно перемешали.

Эксперимент проводили в течение девяти недель. Ежедневно фиксировали максимальную дневную и ночную температуру воздуха, а также измеряли температуру в буртах в трех точках. Измерение температуры компостируемой массы проводили ртутным термометром до 100 °С. Данные о влажности воздуха и количестве осадков получали из открытых источников.

Отбор проб отходов животноводства проводили согласно ГОСТ Р 58595 (ГОСТ Р 58595, 2019). Промежуточный контроль процесса компостирования проводили по учету численности микроорганизмов-аммонификаторов, использующих органические формы азота и микроскопических грибов (ГОСТ Р 53218, 2008). Определение массовой доли влаги компостируемой массы проводили согласно ГОСТ 26718-85 (ГОСТ 26718, 1986).

Начальный и конечный контроль качества отходов животноводства и готового компоста проводили по следующим параметрам: массовая доля общего и аммиачного азота, общего фосфора и калия (на абсолютно сухое вещество и натуральную влажность), содержание гельминтов и санитарно-значимых микроорганизмов. Показатели, полученные по указанным параметрам, сравнивали с данными до начала процесса компостирования (то есть отходами животноводства до внесения микроорганизмов). Определение содержания свинца, кадмия, ртути определяли по ГОСТ Р 53218-2008 (ГОСТ Р 53218, 2008). Наличие жизнеспособных яиц и гельминтов проводили по ГОСТ Р 54001-2010 (ГОСТ Р 54001, 2010) цист кишечных патогенных простейших – ГОСТ Р 57782-2017 (ГОСТ Р 57782, 2017), личинок и куколок синантропных мух – ГОСТ Р 58138-2018 (ГОСТ Р 58138, 2018). Определение уровня токсичных элементов в компостируемой массе, ветеринарно-санитарных и гигиенических показателей проводили согласно ГОСТ 33830-2016 (ГОСТ 33830, 2016).

Статистическую обработку данных проводили по стандартным методикам (Trukhacheva, 2012), а также с использованием программы Microsoft Excel® 2016.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Процесс компостирования навоза крупного рогатого скота проходил в условиях благоприятного температурного режима (рис. 1а). По данным наблюдений, фактическая температура в ноябре составила плюс 8,8 °С, в декабре минус 5,4 °С. Отклонение от нормы: в октябре составило плюс 2,4 °С, в декабре составило плюс 2,8 °С.

Количество осадков в течение ноября-декабря оказало негативное влияние на процесс компостирования. При оптимальной влажности 60–70 % компостируемого материала, в исследуемый период влажность воздуха колебалась от 81 % до 93 % с количеством выпавших осадков от 0,6 мм до 25,3 мм (рис. 1б, 1в). В декабре месяце средняя норма выпадения осадков составляет 43 мм, а выпало 45 мм, что составляет 103 % от нормы. Данный период является наименее благоприятным для процесса компостирования органических отходов. Продолжительные дожди, со второй по восьмую недели эксперимента, привели к переувлажнению компоста, а отсутствие ветра способствовало сохранению влаги в буртах. В течение всего процесса компостирования скорость ветра была низкая и составляла 1–2 м/с и влага не выдувалась из бурта. Динамика изменения скорости ветра в течение эксперимента представлена на рисунке 1г.

Ускоренная переработка отходов животноводства с использованием микробного консорциума в суспензионной и иммобилизованной формах

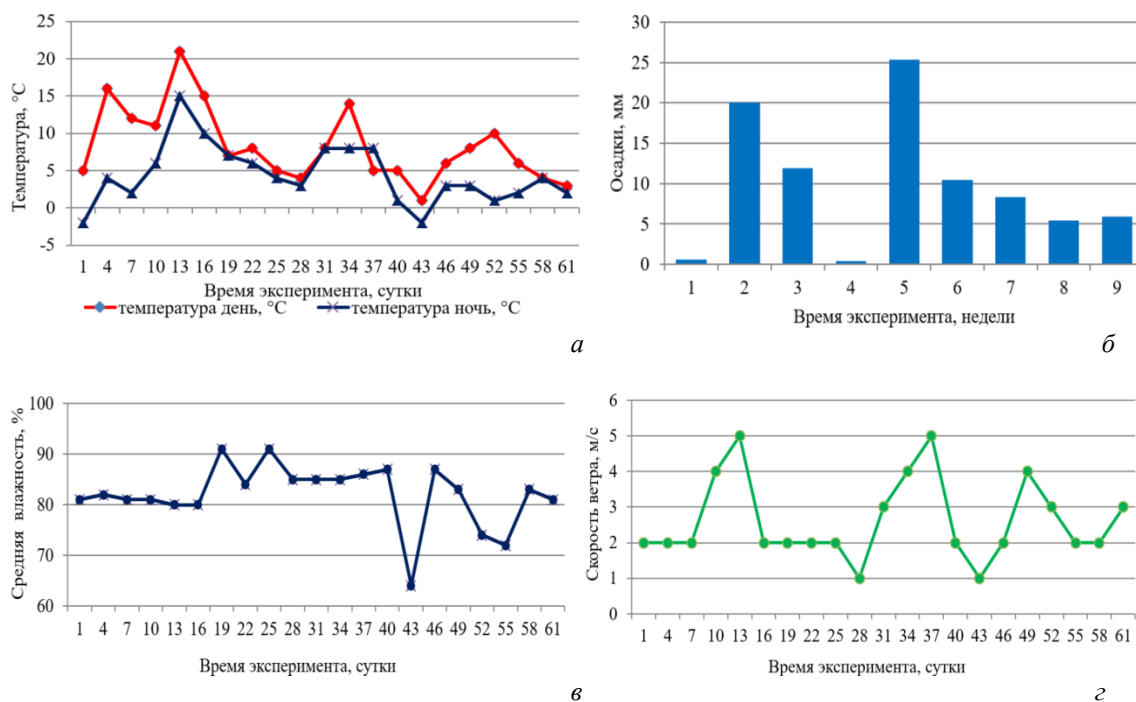


Рис. 1. Погодные условия во время проведения процесса компостирования отходов животноводства

а – температурный режим, *б* – количество осадков, *в* – средняя влажность воздуха, *г* – скорость ветра.

Влажность компостируемой массы, является одним из важнейших факторов, определяющих скорость процесса компостирования. В процессе компостирования питательные вещества, растворяясь в воде, становятся доступными для микроорганизмов. В начале компостирования, влажность навоза составляла 80 % и менялась в процессе компостирования, что отражалось на внешнем состоянии компоста (рис. 2).

Обилие осадков в течение второй и третьей недель эксперимента способствовало повышению влажности компостируемой массы, которая к пятой неделе эксперимента достигала 90 %. Это приводило к слипанию компоста в однородную массу, заполнению пустот, ограничению микроорганизмам доступа к кислороду и тем самым оказывало негативное влияние на развитие микромицетов. Снижению избыточной влажности может



Рис. 2. Внешний вид компостируемой массы отходов животноводства на пятой неделе эксперимента

а – вода стекает с буртов, *б* – отходы животноводства, пропитанные дождевой водой.

способствовать испарению или выдуванию, однако низкая скорость ветра в период проведения эксперимента не оказывала значительного влияния. В компостируемых отходах животноводства содержалось большое количество соломы – материала устойчивого к высокой влажности. Наличие соломы нивелировало воздействие избыточной влажности и способствовало сохранению воздуха, необходимого для роста микромицетов.

Таким образом, во время процесса компостирования температурный режим был благоприятный для развития микроорганизмов в компостируемой массе, а обилие осадков стало фактором, лимитирующим развитие микроскопических грибов.

Для анализа микробной обсемененности компоста в опытных и контрольных вариантах, использовали показатель – количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ). Результаты исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1

Количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов и микроскопических грибов при компостировании отходов животноводства

Варианты опыта	Форма внесения микробного консорциума	Даты проведения исследования, сутки					
		1	5	12	30	44	64
Количество бактерий на питательной среде МПА, КОЕ							
контроль			$2,6 \cdot 10^6$	$1,4 \cdot 10^6$	$7,3 \cdot 10^5$	$4,8 \cdot 10^6$	$6,2 \cdot 10^5$
микробный консорциум	суспензионная	$1,3 \cdot 10^{6*}$	$1,7 \cdot 10^7$	$8,1 \cdot 10^6$	$1,9 \cdot 10^6$	$1,1 \cdot 10^8$	$3,3 \cdot 10^7$
	иммобилизованная		$2,1 \cdot 10^7$	$5,7 \cdot 10^6$	$1,4 \cdot 10^6$	$2,6 \cdot 10^7$	$7,3 \cdot 10^6$
Количество микромицетов на питательной среде Чапека, КОЕ							
контроль			$4,7 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^3$	$2,9 \cdot 10^2$	$4,3 \cdot 10^3$	$4,5 \cdot 10^3$
микробный консорциум	суспензионная	$4,2 \cdot 10^{3*}$	$2,9 \cdot 10^4$	$6,9 \cdot 10^3$	$8,1 \cdot 10^3$	$5,2 \cdot 10^4$	$2,7 \cdot 10^5$
	иммобилизованная		$1,5 \cdot 10^4$	$5,7 \cdot 10^3$	$7,5 \cdot 10^3$	$4,9 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^5$

Примечание к таблице. * – отбор проб для проведения микробиологического анализа проводили до внесения микробного консорциума.

Как в опытных вариантах, так и в контрольном, были обнаружены преимущественно бактерии, количество которых преобладало над микроскопическими грибами. В результате изучения КМАФАнМ было показано, что компостирование отходов животноводства с микробным консорциумом в суспензионной и иммобилизованной формах, способствовало увеличению количества высевных микроорганизмов по сравнению с контрольным вариантом.

В ходе процесса компостирования отходы животноводства изменили внешний вид. Объем компостируемой массы в контрольном варианте уменьшился на 30–40 %, а в опытных вариантах опыта на 50–70 %. Цвет компостируемой массы изменился на 17 сутки, став более светлым. Специфический запах отходов животноводства значительно снизился на 3 сутки, а на 5 сутки – отсутствовал.

В процессе компостирования солома подвергалась разложению (рис. 3). На 45 сутки эксперимента в контрольном варианте количество и размер соломы визуально уменьшился, а в опытных вариантах наблюдались единичные мягкие соломины в небольшом количестве.

В контрольном варианте опыта через 10 месяцев количество соломы значительно уменьшилось. В более глубоких слоях компостируемой массы было обнаружено незначительное количество почерневшей соломы, в то время как в опытных вариантах – солома не обнаружена.

Изменение внешнего вида отходов животноводства в процессе компостирования показало, что использование микробного консорциума приводило к ускоренному разложению соломы за 1,5 месяца, в то время как в контрольном варианте, такой же результат



Рис. 3. Внешний вид компостируемой массы отходов животноводства
a – отходы животноводства в день закладки опыта; *б* – контрольный вариант (45 суток эксперимента); *в* – вариант с внесением микробного консорциума в суспензионной форме (45 суток эксперимента); *г* – вариант с внесением микробного консорциума в иммобилизованной форме (45 суток эксперимента).

был отмечен через 10 месяцев. Значительных отличий в скорости разложения соломы при использовании микробного консорциума в суспензионной или иммобилизованной форме не отмечено.

Одним из перспективных и экологически целесообразных направлений использования отходов животноводства является получение на их основе органоминеральных удобрений с заданными физико-химическими характеристиками. В удобрениях такого типа достигается равномерное распределение основных питательных веществ, что в значительной степени повышает их агрохимическую эффективность. Применение в сельском хозяйстве удобрений, полученных из органических отходов животноводства, содержащих фосфор, азот и калий, оказывает положительное влияние на почву и растения.

Результаты анализа химического состава отходов животноводства и компоста по содержанию азота, фосфора и калия (NPK), полученного с использованием микробного консорциума в суспензионной и иммобилизованной формах приведены в таблице 2.

По содержанию NPK и органического вещества полученный компост соответствует ГОСТу. На 45 суток компостирования в опытных вариантах содержание органического вещества уменьшилось по сравнению с контролем на 1,0–2,4 %, что связано с процессами минерализации. В процессе компостирования в контрольном бурте содержание общего азота снизилось на 6 %, а опытных вариантах – увеличивалось на 21–25 % (рис. 4).

Такая же зависимость отмечена и для аммиачного азота – на 45 суток в контрольном бурте NH_4^+ не обнаружен, что связано с его летучестью. В опытных вариантах содержание аммиачного азота составляет 0,039–0,074 %, показатели иммобилизованной формы микробного консорциума превысили содержание NH_4^+ в начале опыта в 1,6 раз.

В процессе компостирования в контрольном бурте содержание общего фосфора и калия увеличилось на 20,1 % и 1,3 % соответственно, а в опытных вариантах содержание данных элементов зависело от формы внесения микроорганизмов. Так, использование микробного консорциума в суспензионной форме увеличило содержание фосфора на 2,2 %, калия на 5,3 %, по сравнению с контролем, а иммобилизованной – на 15,7 % и 8,8 % соответственно.

Таким образом, содержание NPK в готовом компосте выше, чем в контрольном варианте опыта и не зависит от формы внесения микробного консорциума.

Таблица 2

Массовая доля NPK в отходах животноводства и готовом компосте на абсолютно сухое вещество, %

Показатели	Начало опыта (1 сутки)	Окончание опыта (45 сутки)			ГОСТ 33830-2016
		контроль	форма внесения микробного консорциума		
			суспензионная	иммобилизованная	
Массовая доля органического вещества	75,6	84,3	82,3	80,9	не менее 50
Массовая доля азота общего	2,22	2,08	2,53	2,62	0,3
Массовая доля аммиачного азота	0,045	0,00	0,039	0,074	-
Массовая доля общего фосфора в пересчете на P ₂ O ₄	1,06	1,34	1,37	1,55	0,2
Массовая доля калия общего в пересчете на K ₂ O	2,23	2,26	2,38	2,46	0,2

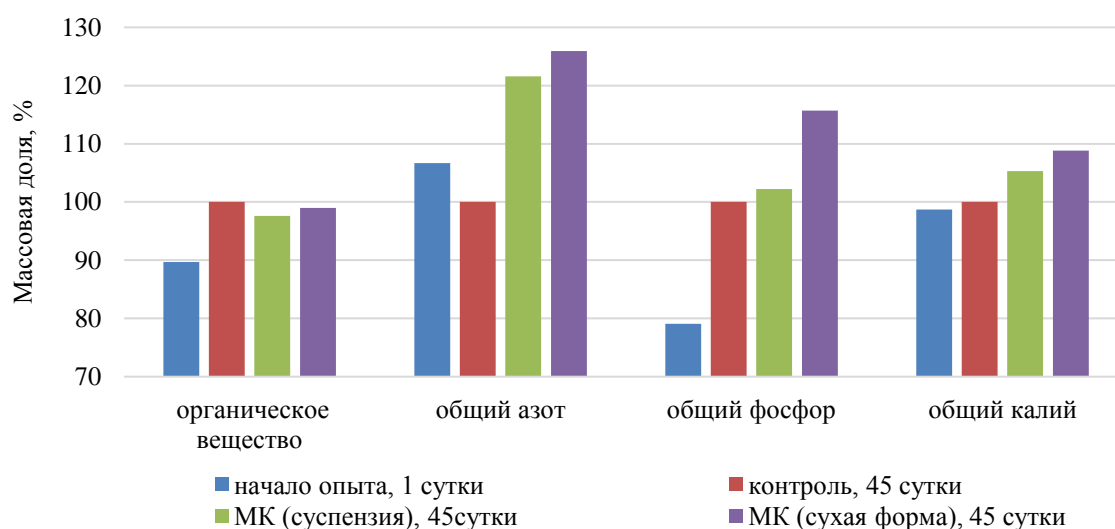


Рис. 4. Массовая доля NPK в отходах животноводства

Проведённые нами исследования по определению уровня токсичных элементов в компостируемой массе отходов животноводства показали, что массовая доля примесей исследуемых элементов в компосте не превышает ПДК (табл. 3). Зависимость содержания токсичных элементов от формы внесения микробного консорциума не выявлена.

По ветеринарно-санитарным и гигиеническим характеристикам компостируемая масса отходов животноводства соответствовала требованиям ГОСТ 33830-2016 независимо от формы внесения микробного консорциума (табл. 4).

В готовом компосте, полученном с использованием микробного консорциума, не обнаружено патогенных и болезнетворных микроорганизмов, жизнеспособных яиц, личинок гельминтов, нематод, а также личинок и куколок синантропных мух. Энтеробактерии были обнаружены только в контрольном варианте, как в начале опыта, так и на 45 сутки компостирования.

Таблица 3

Массовая концентрация примесей токсичных элементов на абсолютно сухое вещество
в отходах животноводства, мг/кг (валовая форма)

Показатели	Начало опыта (1 сутки)	Окончание опыта (45 сутки)			ГОСТ 33830- 2016
		контроль	форма внесения микробного консорциума		
			суспензионная	иммобилизованная	
Свинец	0,70	0,65	0,64	0,64	130,0
Кадмий	0,021	0,02	0,02	0,011	2,0
Ртуть	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено	2,1
Мышьяк	0,75	0,82	0,64	0,73	10,0

Таблица 4

Ветеринарно-санитарный и гигиенический анализ компостируемой массы
отходов животноводства

Варианты опыта			Наличие болезнетворных микроорганизмов, клеток/г	
			сальмонеллы	энтерококки
Начало опыта (1 сутки)			не выделены	1000
Окончание опыта (45 сутки)	контроль		не выделены	1000
	форма внесения микробного консорциума	суспензионная	не выделены	не выделены
		иммобилизованная	не выделены	не выделены

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено влияние погодных условий на процесс компостирования отходов животноводства. Температурный режим в ноябре-декабре был благоприятным для развития микроорганизмов в компостируемой массе, а обилие осадков и низкая скорость ветра оказали негативное влияние и лимитировали развитие микроскопических грибов.

Использование микробного консорциума в суспензионной и иммобилизованной формах приводило к ускорению процесса переработки отходов животноводства, уменьшению объема компостируемой массы на 50–70 %, по сравнению с 30–40 % в контрольном варианте. Устранение запаха наблюдалось на 5 сутки, а изменение цвета отходов – на 17 сутки, в то время как в контрольном варианте, такой же результат был отмечен через 10 месяцев.

Показано, что микробный консорциум ускорял процесс минерализации органического вещества, в результате чего содержание общего азота увеличивалось на 21,6–25,9 %, по сравнению с контролем.

Компост, полученный при внесении микробного консорциума, по содержанию токсичных элементов, а также ветеринарно-санитарным и гигиеническим показателям не превышал ПДК, а по содержанию органического вещества и NPK соответствовал требованиям ГОСТ 33930-2016.

Форма внесения микробного консорциума оказывала влияние на содержание аммиачного азота, фосфора и калия. Использование для компостирования микробного консорциума в суспензионной форме повышало содержание фосфора на 2,2 %, а калия на 5,3 % по сравнению с контролем. В готовом компосте в контрольном варианте опыта, аммиачного азота не обнаружено, в то время как при использовании консорциума микроорганизмов в иммобилизованной форме, выявлено увеличение содержания аммиачного азота в 1,6 раз, в сравнении с началом опыта, а содержание фосфора и калия увеличивалось на 15,7 % и 8,8 %.

Исследование выполнено в рамках реализации проекта Приоритет 2030 Г/2022/2 «Разработка ускоренной технологии переработки отходов птицеводства и животноводства с использованием микробного консорциума и оценка перспектив использования компоста в сельском хозяйстве».

Список литературы

- ГОСТ 26718-85 Удобрения органические. Методы анализа. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам. – 1986. – 6 с.
- ГОСТ Р 58595-2019 Почвы. Отбор проб. – М.: Стандартинформ, 2019. – 5 с.
- ГОСТ Р 33830-2016 Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2020. – 20 с.
- ГОСТ Р 53218-2008 Удобрения органические. Атомно-абсорбционный метод определения содержания тяжелых металлов. – М.: Стандартинформ, 2020. – 12 с.
- ГОСТ Р 54653-2011 Удобрения органические. Методы микробиологического анализа – М.: Стандартинформ, 2012. – 24 с.
- ГОСТ Р 57782-2017 Удобрения органические. Методы паразитологического анализа. Методы определения ооцист и цист простейших. – М.: Стандартинформ, 2018. – 16 с.
- ГОСТ Р 58138-2018 Удобрения органические. Методы паразитологического анализа. Методы определения личинок синантропных мух. – М.: Стандартинформ, 2018. – 16 с.
- ГОСТ Р 54001-2010 Удобрения органические. Методы гельминтологического анализа. – М.: Стандартинформ, 2020. – 12 с.
- Демаков, В. А., Максимова Ю. Г., Максимов А. Ю. Иммунизация клеток микроорганизмов: биотехнологические аспекты // Биотехнология. – 2008. – № 2. – С. 30–45.
- Крякунова Е. В., Канарский А. В. Иммунизация микроорганизмов и ферментов // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15, № 17. – С. 189–194.
- Миронин А. В., Туманов А. С., Тетерин В. В., Янов Д. С., Филиппов А. В.: Пат. № 2738396 С1, Российская Федерация. Способ получения сухих бактериальных препаратов. Патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский институт» Министерства обороны Российской Федерации; заявл. 16.01.2020; опубл. 11.12.2020. Бюл. – № 35. – 8 с.
- Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. – 15 с.
- Рассолов С. Н., Багно О. А., Беспоместных К. В. Биологический способ утилизации свиного навоза // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 11. – С. 220–225.
- Теучеж А. А. Технология ускоренной переработки бесподстильного свиного навоза в органическое удобрение // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 65. – С. 157–165. DOI: 10.21515/1999-1703-65-157-165
- Фальчевская Ю. А., Осмонов О. М. Биогазовая технология как автономный источник энергии для создания микроклимата животноводческих помещений // Дальневосточный аграрный вестник. – 2022. – Т 16, № 4. С. 131–137. DOI: 10.22450/199996837_2022_4_131
- Ходак В. И., Фукс П. П., Квачов В. Г., Петренчук Э. П.; Пат. № 2104299 С1, Российская Федерация. Способ получения бактериальных препаратов. Патентообладатель Ходак В. И.; заявл. 24.05.1996.; опубл. 10.02.1998.
- Черданцева Е. С., Гаврилова О. В. Использование микроорганизмов при утилизации промышленных и бытовых отходов // Научно-исследовательские публикации. – 2016. – № 1 (33). – С. 66–69.
- Чехунов О. А., Чехунова Г. С., Воронин В. В. Агрегат для приготовления компостов с использованием эффективных микроорганизмов // Техника и технологии в животноводстве. – 2020. – № 2 (38). – С. 80–85.
- Jatav H. S., Rajput V. D., Minkina T., Singh S. K., Chejara S., Gorovtsov A., Barakhov A., Bauer T., Sushkova S., Mandzhieva S., Burachevskaya M., Kalinitchenkoet V. P. Sustainable Approach and Safe Use of Biochar and Its Possible Consequences // Sustainability. – 2021. – V. 13. – P. 10362. <https://doi.org/10.3390/su131810362>
- Ormerod J. G., Ormerod K.S., Gest H. Light-dependent utilization of organic compounds and photoproduction of molecular hydrogen by photosynthetic bacteria; relationships with nitrogen metabolism // Arch Biochem Biophys. – 1961. – V. 94. – P. 449-63. DOI: 10.1016/0003-9861(61)90073-x
- Strafella S., Simpson D., Khanghahi M., Angelis M., Gänzle M., Minervini F and Crecchio C. Comparative Genomics and *In Vitro* Plant Growth Promotion and Biocontrol Traits of Lactic Acid Bacteria from the Wheat Rhizosphere // Microorganisms. – 2021. – V. 9. – P. 78. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9010078>
- Sushkova S., Minkina T., Dudnikova T., Barbashev A., Popov Yu., Rajput V., Bauer T., Nazarenko O., Kızılkaya R. Reduced plant uptake of PAHs from soil amended with sunflower husk biochar // Eurasian Journal of Soil Science. – 2021. – P. 10. <https://doi.org/10.18393/ejss.935397>
- Trukhacheva N. Mathematical statistics in biomedical research using the Statistica package. – М.: GEOTAR-Media, 2012. – 379 p.

Rzhevskaya V. S., Omelchenko A. V., Bugara I. A., Omelchenko S. O. Accelerated processing of animal husbandry waste using a microbial consortium in suspension and immobilised forms // Ekosistemy. 2023. Iss. 36. P. 248–257.

The results of research on the process of composting animal husbandry waste using a microbial consortium in suspension and immobilised (mixed with a sorbent – biochar) forms are presented. The role of weather conditions in the process of composting livestock waste was determined. The use of a microbial consortium of lactic acid bacteria, microscopic and yeast fungi in suspension and immobilised forms accelerated the process of processing livestock waste, moreover, it contributed to a decrease in the volume of composted mass by 50–70 %, odor elimination on the fifth day and color change of livestock waste on 17th day. It was revealed that in the control version, the same result was noted after 10 months. The compost obtained with microbial consortium does not exceed MPC by the content of toxic elements, as well as veterinary, sanitary and hygienic indicators, and by the content of organic matter and NPK meets the requirements of GOST 33930-2016. The introduction of microbial consortium accelerated the process of mineralisation of organic matter and contributed to an increase in the content of total nitrogen by 21.6-25.9 %, compared to the control. When using the immobilised form of microbial consortium in the finished compost, an increase in the content of ammonia nitrogen by 1.6 times was detected, while in the control variant ammonia nitrogen was not detected. The form of microbial consortium application influenced the content of phosphorus and potassium. When the suspension form was used, the phosphorus content was 2.2 % and potassium content was 5.3 % higher than in the control, while the immobilised form was 15.7 % and 8.8 % higher, respectively.

Key words: animal by-products, processing of organic waste, microbial consortium, composting, suspension and immobilised form of the drug.

Поступила в редакцию 01.11.23

Принята к печати 04.12.23