

**2025**

**Т. 17, № 2**

**МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ НАУЧНЫЙ  
И ПРИКЛАДНОЙ ЖУРНАЛ**



# БИОСФЕРА

ISSN 2077-1371 / [www.21bs.ru](http://www.21bs.ru)

## **СООБЩЕСТВО**

### **МОРСКОГО ПЛАНКТОНА КАК АКТИВНАЯ СРЕДА**

**М.А. Гладыш, Н.С. Челядина,  
А.В. Кузнецов**

*MARINE PLANKTON COMMUNITY*

*AS AN ACTIVE MEDIUM*

*M.A. Gladyshev, N.S. Cheliadina,*

*A.V. Kuznetsov*

## **РОДОВЫЕ СПЕКТРЫ ФЛОР ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ РАЙОНОВ САМАРО- УЛЬЯНОВСКОГО ПОВОЛЖЬЯ**

**А.В. Иванова**

*GENUS SPECTRA OF FLORA*

*IN THE PHYSICO-GEOGRAPHICAL*

*REGIONS OF SAMARA-ULYANOVSK*

*VOLGA REGION*

*A.V. Ivanova*

## **СОСТОЯНИЕ ПРИРОДНЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА ТУРИСТИЧЕСКОМ МАРШРУТЕ В ГОРНО-ТАЕЖНЫХ ЛЕСАХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ШУШЕНСКИЙ БОР»**

**А.И. Татаринцев, Н.Н. Кулакова**

*THE CONDITIONS OF FOREST*

*STAND ALONG A TOURIST PATH*

*IN MOUNTAIN TAIGA*

*OF THE NATIONAL PARK*

*"SHUSHENDKIY BOR"*

*A.I. Tatarintsev,*

*N.N. Kulakova*



ФОТО: MAREKMIŚ, COMMONS.WIKIMEDIA.ORG



© ФОНД НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ «XXI ВЕК»  
РОССИЙСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

# БИОСФЕРА

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ НАУЧНЫЙ И ПРИКЛАДНОЙ ЖУРНАЛ  
ПО ПРОБЛЕМАМ ПОЗНАНИЯ И СОХРАНЕНИЯ БИОСФЕРЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕЕ РЕСУРСОВ

**Том 17, № 2**

Санкт-Петербург

2025



# BIOSPHERE

INTERDISCIPLINARY JOURNAL OF BASIC AND APPLIED SCIENCES DEDICATED  
TO COMPREHENSION AND PROTECTION OF THE BIOSPHERE AND TO USAGE OF RESOURCES THEREOF

**Vol. 17, No. 2**

Saint Petersburg

2025

© «XXI CENTURY» RESEARCH FOUNDATION  
RUSSIAN ECOLOGICAL ACADEMY

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ****EDITORIAL BOARD**

**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР EDITOR-IN-CHIEF**  
**Г.С. РОЗЕНБЕРГ (ТОЛЬЯТТИ) G.S. ROZENBERG (TOGLIATTI)**

**ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF**  
**А.Г. ГОЛУБЕВ (С.-ПЕТЕРБУРГ) A.G. GOLUBEV (SAINT PETERSBURG)**

**СЕКРЕТАРЬ РЕДАКЦИИ:****И.М. ТАТАРНИКОВА**

EDITORIAL SECRETARY:

I.M. TATARNIKOVA

**ДИЗАЙН: Е.А. КОРЧАГИНА**

DESIGN: YE.A. KORCHAGINA

**ВЕРСТКА: Т.А. СЛАЩЕВА**

LAYOUT: T.A. SLASCHEVA

**КОРРЕКТОР: Н.А. НАТАРОВА**

PROOFREADING: N.A. NATAROVA

**Е.В. Абакумов (С.-Петербург) E.V. Abakumov (Saint Petersburg)****Э.В. Баркова (Москва) E.V. Barkova (Moscow)****В.Н. Большаков (Екатеринбург) V.N. Bolshakov (Ekaterinburg)****Л.Я. Боркин (С.-Петербург) L.Ja. Borkin (Saint Petersburg)****А.К. Бродский (С.-Петербург) A.K. Brodsky (Saint Petersburg)****Р.М. Вильфанд (Москва) R.M. Vilfand (Moscow)****В.В. Глупов (Новосибирск) V.V. Glupov (Novosibirsk)****М.Д. Голубовский (Окленд, США) M.D. Golubovskiy (Oakland, CA, USA)****В.А. Драгавцев (С.-Петербург) V.A. Dragavtsev (Saint Petersburg)****Г.В. Жижин (С.-Петербург) G.V. Zhizhin (Saint Petersburg)****Т.Д. Зинченко (Тольятти) T.D. Zinchenko (Togliatti)****Г.А. Ивахненко (С.-Петербург) G.A. Ivakhnenko (Saint Petersburg)****Г.А. Исаченко (С.-Петербург) G.A. Isachenko (Saint Petersburg)****Л.М. Кавеленова (Самара) L.M. Kavelenova (Samara)****Н.А. Кашулин (Апатиты) N.A. Kashulin (Apatity)****М. Клявинш (Рига, Латвия) M. Klavins (Riga, Latvia)****С.В. Кривовичев (С.-Петербург) S.V. Krivovichev (Saint Petersburg)****Г.Р. Кудоярова (Уфа) G.R. Kudoyarova (Ufa)****А.Ю. Кулагин (Уфа) A.Yu. Kulagin (Ufa)****М.Д. Магомедов (Махачкала) M.D. Magomedov (Makhachkala)****Н.Н. Марфенин (Москва) N.N. Marfenin (Moscow)****М.А. Надпорожская (С.-Петербург) M.A. Nadporozhskaya (Saint Petersburg)****Ю.К. Новожилов (С.-Петербург) Yu.K. Novozhilov (Saint Petersburg)****Г.В. Осипов (Москва) G.V. Osipov (Moscow)****В.А. Павлюшин (С.-Петербург) V.A. Pavliushin (Saint Petersburg)****К.М. Петров (С.-Петербург) K.M. Petrov (Saint Petersburg)****О.Н. Пугачев (С.-Петербург) O.N. Pugachev (Saint Petersburg)****Ю.А. Рахманин (Москва) Yu.A. Rakhmanin (Moscow)****В. Реген (Берлин, Германия) W. Regen (Berlin, Germany)****А.А. Редько (С.-Петербург) A.A. Redko (Saint Petersburg)****А.Л. Рижинашвили (С.-Петербург) A.L. Rizhinashvili****Г.А. Софронов (С.-Петербург) G.A. Sofronov (Saint Petersburg)****В.М. Тарбаева (С.-Петербург) V.M. Tarbayeva (Saint Petersburg)****Ф.А. Темботова (Нальчик) F.A. Tembotova (Nalchik)****И.А. Тихонович (С.-Петербург) I.A. Tikhonovich (Saint Petersburg)****М.Д. Уфимцева (С.-Петербург) M.D. Ufimtseva (Saint Petersburg)****М.А. Филатов (Сургут) M.A. Filatov (Surgut)****Е.Я. Фрисман (Биробиджан) Ye.Ya. Frisman (Birobijan)****О. Чертов (Бинген-на-Рейне, Германия) O. Chertov (Bingen am Rhein, Germany)****Л.П. Чурилов (С.-Петербург) L.P. Churilov (Saint Petersburg)****АДРЕС РЕДАКЦИИ:****197110, Санкт-Петербург,****Большая Разночинная ул., д. 28;****Тел./факс: (812) 415-41-61****Эл. почта: biosphaera@21mm.ru****Электронная версия:****http://21bs.ru (ISSN 2077-1460)****POSTAL ADDRESS:**

28 Bolshaya Raznochinnaya,

197110,

Saint Petersburg, Russia;

Phone/fax: +7 (812) 415-41-61;

E-mail: biosphaera@21mm.ru

**Online version:****http://21bs.ru (ISSN 2077-1460)**

# СОДЕРЖАНИЕ

A3

**СОДЕРЖАНИЕ**  
CONTENTS

128

**СОБЫТИЯ И КОММЕНТАРИИ /**  
EVENTS AND COMMENTS

72

**65-ЛЕТНИЙ ЮБИЛЕЙ ЧЛЕНА РЕДКОЛЛЕГИИ**  
**ЖУРНАЛА «БИОСФЕРА»**  
**ВЕРОНИКИ МИХАЙЛОВНЫ ТАРБАЕВОЙ**  
SIXTY-FIFTH ANNIVERSARY OF  
VERONIKA MIKHAYLOVNA TARBAYEVA,  
MEMBER OF THE EDITORIAL BOARD OF "BIOSPHERE"

138

**ПРАКТИКА / PRACTICE**

75

**ПОКАЗАТЕЛИ ЗАРАСТАНИЯ ОЗЕР**  
**САРАЛИНСКОГО УЧАСТКА**  
**ВОЛЖСКО-КАМСКОГО ЗАПОВЕДНИКА**  
**Р.Р. Хасанов, И.И. Зиганшин, В.С. Валиев,**  
**А.Б. Александрова**  
PARAMETERS OF LAKES OVERGROWING IN SARALINSKY  
SECTION OF VOLGA-KAMA RESERVE  
R.R. Khasanov, I.I. Ziganshin,  
V.S. Valiev, A.B. Aleksandrova

147

**ПРИРОДА / NATURE**

83

**СООБЩЕСТВО МОРСКОГО ПЛАНКТОНА КАК**  
**АКТИВНАЯ СРЕДА**  
**М.А. Гладыш, Н.С. Челядина, А.В. Кузнецов.**  
MARINE PLANKTON COMMUNITY AS AN ACTIVE  
MEDIUM  
M.A. Gladyshev, N.S. Cheliadina, A.V. Kuznetsov

112

**ЛЕЖБИЩЕ СИВУЧЕЙ (EUMETOPIAS JUBATUS) НА**  
**ВОЛНОЛОМЕ ПОРТА НЕВЕЛЬСК В УСЛОВИЯХ**  
**АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**  
**Е.С. Васюков, А.Д. Кириллова,**  
**С.В. Любаченко, В.Н. Бурканов**  
A HAUL-OUT OF STELLER SEA LIONS (EUMETOPIAS  
JUBATUS) LOCATED ON THE MOLE OF NEVELSK PORT  
UNDER ANTHROPOGENIC IMPACT  
Ye.S. Vasiukov, A.D. Kirillova, S.V. Liubachenko,  
V.N. Burkanov

**РОДОВЫЕ СПЕКТРЫ ФЛОР**  
**ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ РАЙОНОВ**  
**САМАРО-УЛЬЯНОВСКОГО ПОВОЛЖЬЯ**  
**А.В. Иванова**

GENUS SPECTRA OF FLORA IN THE PHYSICO-  
GEOGRAPHICAL REGIONS OF SAMARA-ULYANOVSK  
VOLGA REGION  
A.V. Ivanova

**СОСТОЯНИЕ ПРИРОДНЫХ НАСАЖДЕНИЙ**  
**НА ТУРИСТИЧЕСКОМ МАРШРУТЕ В ГОРНО-**  
**ТАЕЖНЫХ ЛЕСАХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА**  
**«ШУШЕНСКИЙ БОР»**

**А.И. Татаринцев, Н.Н. Кулакова**  
THE CONDITIONS OF FOREST STAND ALONG A TOURIST  
PATH IN MOUNTAIN TAIGA OF THE NATIONAL PARK  
"SHUSHENDKIY BOR"  
A.I. Tatarintsev, N.N. Kulakova

**ДИНАМИКА ОЧАГОВ КАРАНТИННЫХ**  
**НАСЕКОМЫХ-ВРЕДИТЕЛЕЙ В ГРАНИЦАХ**  
**ЛЕСНОГО ФОНДА КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ**  
**В.В. Попова, П.А. Федорова, С.М. Султсон,**  
**Н.Н. Кулакова, П.В. Михайлов**

DYNAMICS OF PEST FOCI SUBJECTED TO QUARANTINE  
SURVEILLANCE WITHIN THE FOREST RESOURCE  
BORDERLINES OF KRASNOYARSK REGION  
V.V. Popova, P.A. Fedorova, S.M. Sultson, N.N.  
Kulakova, P.V. Mikhaylov

## 65-ЛЕТНИЙ ЮБИЛЕЙ ЧЛЕНА РЕДКОЛЛЕГИИ ЖУРНАЛА «БИОСФЕРА» ВЕРОНИКИ МИХАЙЛОВНЫ ТАРБАЕВОЙ



**Вероника Михайловна Тарбаева** – председатель Бюро Санкт-Петербургского городского отделения Российской экологической академии (РЭА), академик и член Президиума РЭА, член-корр. РАЕН, председатель Ленинградского областного отделения Межрегиональной общественной организации «Природоохранный союз», член Научно-технического совета и Экспертного совета по нацпроекту «Экология» при Минприроды Российской Федерации, ведущий научный сотрудник, начальник отдела нормирования окружающей среды ГосНИИ промышленной экологии Росприроднадзора, доктор биологических наук, профессор.

Вероника Михайловна родилась 14 апреля 1960 года в пос. Хийтола Лахденпохского района Республики Карелия. Окончила биологический факультет Ленинградского государственного университета по специальности «Биология». В 1995 году защитила диссертацию на соискание ученой степени доктора биологических наук.

В системе управления и охраны природными ресурсами России работает с 1983 года.

В короткие сроки сделала успешную научную карьеру от старшего лаборанта Коми-филиала АН СССР до

профессора, зав. кафедрой ботаники Сыктывкарского государственного Университета (1997–2002) и зам. директора по науке Национального парка Югыд Ва (2000–2003), ведущего научного сотрудника Института биологии Коми-НЦ УрО РАН (2002), профессора Санкт-Петербургского государственного университета (2003) и профессора Российского государственного гидрометеорологического университета (2017).

Результаты научной деятельности В.М. Тарбаевой стали крупным вкладом в развитие научного направления «Изучение, охрана и рациональное использование природных ресурсов на Европейском Северо-Востоке», а также имеют большое практическое значение для создания постоянной лесосеменной базы в Республике Коми.

В.М. Тарбаева принимала участие в программе комплексных исследований в хвойных лесах 30-километровой зоны Чернобыльской АЭС, неоднократно выезжая для сбора экспериментальных материалов в полевые экспедиции в 30-км и 10-км зоны аварии. Полученные в результате проведенных исследований данные внесли значительный вклад в лесную радиоэкологию, а также в развитие методологии и инновационных технологий по индикации радиоактивного загрязнения. Была руководителем более 30 грантов российских и международных организаций.

С 1997 по 2002 год работала в области высшего образования: в должности профессора и заведующего кафедрой ботаники Сыктывкарского государственного университета, зарекомендовав себя отличным организатором учебного и научного процессов на факультете. В 1998 году получила звание профессора. На высоком профессиональном уровне осуществляла учебную, учебно-методическую и научную работу, активно участвовала в жизни университета. Как высоко квалифицированного преподавателя ее оценили и студенты, а также руководство Университета Бригама Янга (Юта, США) и Государственного университета Валдосты (Джорджия, США), где она некоторое время преподавала на английском языке.

Большой заслугой Вероники Михайловны перед Сыктывкарским ГУ стало создание научной школы «Проблемы изучения, охраны и рационального использования растительного мира на Европейском Северо-Востоке» (приказ Министерства образования РФ), в рамках которой более 10 лет успешно реализовался Федеральный целевой проект «Интеграция фундаментальной науки и высшего образования в области биоло-

гии и экологии в Республике Коми», а также успешная организация научной работы студентов и аспирантов. Под ее руководством успешно защитили дипломы и кандидатские диссертации 8 аспирантов и докторские диссертации 2 докторанта. В.М. Тарбаева также являлась одним из инициаторов и организаторов создания и развития в Республике Коми республиканской программы экологического образования и программы развития экологического туризма, была руководителем ежегодных экологических лагерей для студентов и школьников. С 2003 года по настоящее время Вероника Михайловна читает курс лекций «Государственное управление в области охраны окружающей среды и природопользования» для магистров-экологов на биологическом факультете Санкт-Петербургского государственного университета. Является автором более 300 научных трудов, включая 15 монографий, 8 печатных учебных пособий, 3 электронных учебных пособия, 200 статей в научных журналах в области биологии и экологии (на русском и английском языках).

С 2003 по 2011 год В.М. Тарбаева сделала успешную карьеру природоохранного чиновника: работала начальником отдела Особо охраняемых природных территорий и международного сотрудничества Главного управления природных ресурсов Министерства природных ресурсов (МПР) Российской Федерации по Санкт-Петербургу и Ленинградской области, заместителем руководителя Управления Росприроднадзора МПР России по Ленинградской области, заместителем руководителя Невско-Ладожского бассейнового водного Управления Федерального Агентства водных ресурсов МПР России, заместителем председателя комитета по природным ресурсам Ленинградской области Правительстве Ленинградской области (2010–2011).

В период работы в системе водного хозяйства в качестве заместителя руководителя Невско-Ладожского бассейнового водного управления Вероникой Михайловной внесен большой вклад в развитие сети ООПТ не только в Ленинградской области и Санкт-Петербурге, но и на Северо-Западе России, в пропаганду экологических знаний, совершенствование законодательства в области государственного мониторинга водных объектов, их охраны и использования.

В.М. Тарбаева является одним из организаторов и координаторов развития международного сотрудничества в области мониторинга, управления, охраны и использования водных ресурсов в Балтийском регионе и членом многих международных рабочих групп и советов. Участвовала в организации крупных международных выставок, конференций и форумов, посвященных водной тематике, являлась координатором более 30 международных проектов в области охраны окружающей среды и природопользования, в том числе водных ресурсов, реализуемых на территории Ленинградской области и Санкт-Петербурга. С 2011 года по настоящее

время В.М. Тарбаева выступает в качестве эксперта на заседаниях Научно-технического совета Минприроды РФ, подготовила более 25 рецензий на отчеты работ по базовым проектам НИОКР, была научным руководителем шести НИР, одна из которых – «Научно-обоснованные предложения по установлению биогенной нагрузки на Финский залив со стороны России и определение соответствия нагрузки требованиям Копенгагенской Министерской Декларации ХЕЛКОМ» (2015) в рамках ФЦП «Развитие водохозяйственного комплекса РФ в 2012–2020 годах», участвовала на заседаниях ГЭЭ Росприроднадзора, выступала в качестве председателя экспертных комиссий при проведении общественной экологической экспертизы в сфере намечаемой деятельности на море, а также в работах по нормативам допустимых выбросов в атмосферу (НДВ) и Схемам комплексного использования и охраны водных объектов (СКИВО) бассейнов рек Нарва, Нева, Луга.

С 2012 до апреля 2014 года В.М. Тарбаева работала в должности заместителя председателя Ленинградского областного отделения Всероссийского общества охраны природы, зарекомендовав себя талантливым автором и руководителем экологических программ, отличным организатором крупных мероприятий регионального, федерального и международного уровня (выставок, совещаний, конференций, форумов, симпозиумов). С 2011 года являлась руководителем программы «Вода – бесценное наследие», в рамках которой внесен большой вклад в пропаганду экологических знаний, расширение информированности и повышение экологической культуры гражданского общества, а также в консолидацию усилий всех слоев общества по достижению улучшения состояния и воспроизводства окружающей среды, в том числе водных объектов, повышения качества жизни населения и обеспечения экологической безопасности.

Принимала участие в разработке «Стратегии развития морской деятельности РФ» в рамках выполнения ею проекта в соответствии с Программой развития ООН по разработке рекомендаций органам государственной власти и организациям по проведению мероприятий с целью предотвращения или снижения воздействия от возможных разливов нефтепродуктов и иных загрязняющих веществ на морские и прибрежные особо охраняемые природные территории (МПООПТ) Финского залива.

В.М. Тарбаева вела и продолжает вести большую научную и общественную работу: является членом ученых и диссертационных советов, членом крупнейших научных российских и международных обществ, координационных и общественных советов, различных комитетов и комиссий, экспертно-консультационных советов при федеральных и региональных органах законодательной и исполнительной власти, в том числе Научно-технического совета при Минприроды РФ,

экологического совета при губернаторе Санкт-Петербурга и экспертного совета по национальному проекту «Экология» при Правительстве РФ, членом бассейновых советов Балтийского и Баренцево-Беломорского бассейновых округов, федеральным экспертом в научно-технической сфере, а также членом редколлегии междисциплинарного научного журнала «Биосфера».

Под ее руководством в качестве Председателя экспертно-консультативного совета постоянной комиссии по экологии и природопользованию Законодательного собрания Ленинградской области был подготовлен и доложен на заседаниях Государственной Думы ФС РФ и законодательных собраний субъектов СЗФО ряд экспертных заключений в области водного законодательства и экологической политики.

С 2014 года Вероника Михайловна возглавляет Санкт-Петербургское городское отделение РЭА, является членом Президиума РЭА и председателем Центрального Совета Межрегиональной общественной организации «Природоохранный союз». Под ее руководством осуществлялся проект Всероссийская экологическая акция «Вода России» (ранее название «Нашим рекам и озерам – чистые берега!») в рамках реализации ФЦП «Развитие водохозяйственного комплекса РФ в 2012–2020 годах». Ею был организован ежемесячный мониторинг подготовки акции представителями органов исполнительной власти субъектов РФ, проводилась большая и постоянная работа по их консультированию. Результаты широко освещались в региональных и федеральных СМИ. Акция прошла в 85 регионах РФ, в ней приняло участие более 2,5 млн человек, среди которых подавляющее большинство – учащиеся средних и высших учебных заведений. Долгосрочным эффектом от проведения акции «Вода России» является консолидация представителей всех сегментов общества в стремлении своим участием улучшить сложившуюся неблагоприятную экологическую ситуацию.

С 2017 года по настоящее время В.М. Тарбаева занимает пост председателя Комиссии по агропромышленному комплексу, сельским территориям и природопользованию Общественной палаты Ленинградской области. За это время ею было организовано и проведено большое количество крупных мероприятий муниципального, регионального и федерального уровней в рамках компетенции Комиссии («круглые столы», семинары, конференции, форумы и т. д.), внесено много предложений в совершенствование экологического законодательства, а также разработан ряд проектов нормативно-правовых актов в области природопользования и экологии.

С 2018 года по настоящее время Вероника Михайловна успешно развивает новое направление в развитии экологической культуры в контексте народной культуры и традиционного природопользования на территории регионов СЗФО и за рубежом. Под ее руководством

организованы и проведены широкомасштабные мероприятия, такие как международные фестивали народной культуры «Любящее Сердце России», «Хоровод Мира», «Космический Хоровод» и другие.

В настоящий момент работает ведущим научным сотрудником, начальником отдела нормирования окружающей среды ГосНИИ промышленной экологии Росприроднадзора.

Многолетняя плодотворная профессиональная деятельность и заслуги Вероники Михайловны в осуществлении природоохранной деятельности отмечены многочисленными наградами, в том числе от Правительства СССР нагрудным знаком и удостоверением участника ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, почетными грамотами, в том числе от Министерства природных ресурсов РФ и Росводресурсов за многолетнюю добросовестную работу, большой вклад в развитие заповедного дела, рационального природопользования, экологической безопасности и охраны окружающей среды, нагрудным знаком Министерства образования РФ за лучшую организацию научно-исследовательской работы студентов, грамотой Министерства образования РФ за значительный вклад в развитие высшего образования в Республике Коми, Почетными грамотами губернаторов Ленинградской и Архангельской областей, глав республик Ингушетии и Коми, Законодательного собрания Ленинградской области за многолетний добросовестный труд и большой вклад в дело охраны окружающей среды, грамотой Российской академии наук за значительный вклад в развитие науки на европейском Северо-Востоке России, а также нагрудным знаком «Орден В.И. Вернадского», почетными знаками «Заслуженный эколог» и «Народный эколог», многочисленными дипломами Неправительственного экологического фонда имени В.И. Вернадского, медалью М.В. Ломоносова «За вклад в науку и экологию» Российской экологической академии, нагрудным знаком Национального комитета «ГОРДОСТЬ РОДА», дипломами и благодарственными письмами различных научных и общественных организаций за личный вклад в охрану природы, развитие экологической культуры, экологического воспитания, образования и просвещения.

**От имени Фонда научных исследований «XXI век», издающего журнал «Биосфера», и редколлегии и редакции журнала поздравляем Веронику Михайловну с юбилеем и желаем здоровья и дальнейших успехов на всех направлениях ее деятельности во имя сохранения природы для будущих поколений.**

*Президент ФНИ «XXI век»*

*А.И. Новиков*

*Главный редактор журнала «Биосфера»*

*Г.С. Розенберг*

*Секретарь редакции журнала*

*И.М. Татарникова*

# ПОКАЗАТЕЛИ ЗАРАСТАНИЯ ОЗЕР САРАЛИНСКОГО УЧАСТКА ВОЛЖСКО-КАМСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

Р.Р. Хасанов<sup>1</sup>, И.И. Зиганшин<sup>1, 2\*</sup>, В.С. Валиев<sup>1</sup>,  
А.Б. Александрова<sup>1, 2\*\*</sup>

<sup>1</sup> Институт проблем экологии и недропользования АН РТ и

<sup>2</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

Эл. почта: \*irek\_ziganschin@mail.ru; \*\*adabl@mail.ru

Статья поступила в редакцию 02.04.2025; принята к печати 28.04.2025

Представлены результаты оценки уровня зарастания озер отчлененных заливов Куйбышевского водохранилища, расположенных в Саралинском участке Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника и его охранной зоны в пределах второй надпойменной террасы Волги и Камы, основанные на анализе разновременных космических снимков высокого пространственного разрешения и данных полевых наблюдений 2021–2024 годов. Выявлены основные закономерности зарастания озер прибрежно-водной растительностью, преимущественно тростником южным (*Phragmites australis*). В зависимости от морфометрических особенностей озер степень их зарастания варьирует от 2 до 90%. На основе анализа динамики нормализованного относительного индекса растительности (NDVI) рассчитана средняя скорость зарастания озер прибрежно-водной растительностью: 1206 м<sup>2</sup> в год. При сохранении темпов зарастания прогнозируется полное исчезновение части озер в ближайшие десятилетия.

**Ключевые слова:** Куйбышевское водохранилище; прибрежно-водная растительность; динамика зарастания, дистанционное зондирование; Волжско-Камский заповедник.

## PARAMETERS OF LAKES OVERGROWING IN SARALINSKY SECTION OF VOLGA-KAMA RESERVE

R.R. Khasanov<sup>1</sup>, I.I. Ziganshin<sup>1, 2\*</sup>, V.S. Valiev<sup>1</sup>, A.B. Aleksandrova<sup>1, 2\*</sup>

<sup>1</sup> Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Resources, Tatarstan Academy of Sciences, Kazan, Russia;

<sup>2</sup> Kazan (Privolzhskiy) Federal University, Kazan, Russia

Email: \* irek\_ziganschin@mail.ru; \*\*adabl@mail.ru

The results of assessment of the dynamics of overgrowing of the detached bays of Kuibyshev Reservoir located in the Saralinsky part of Volga-Kama State Natural Biosphere Reserve and its buffer zone on floodplain terrace II of the rivers Volga and Kama are presented. The assessment is based on the analysis of serial high-resolution satellite images and on field studies carried out in 2021–2024. The key patterns of lake overgrowing by aquatic and riparian vegetation, predominantly by southern reed (*Phragmites australis*) were identified. Depending on the morphometric characteristics of the lakes, the degree of overgrowing ranges from 2% to 90%. Based on the dynamics of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), the average rate of lake overgrowing by aquatic vegetation is estimated to amount to 1206 m<sup>2</sup> per year. If the current rates of overgrowing will persist, the lakes may be expected to disappear in the coming decades.

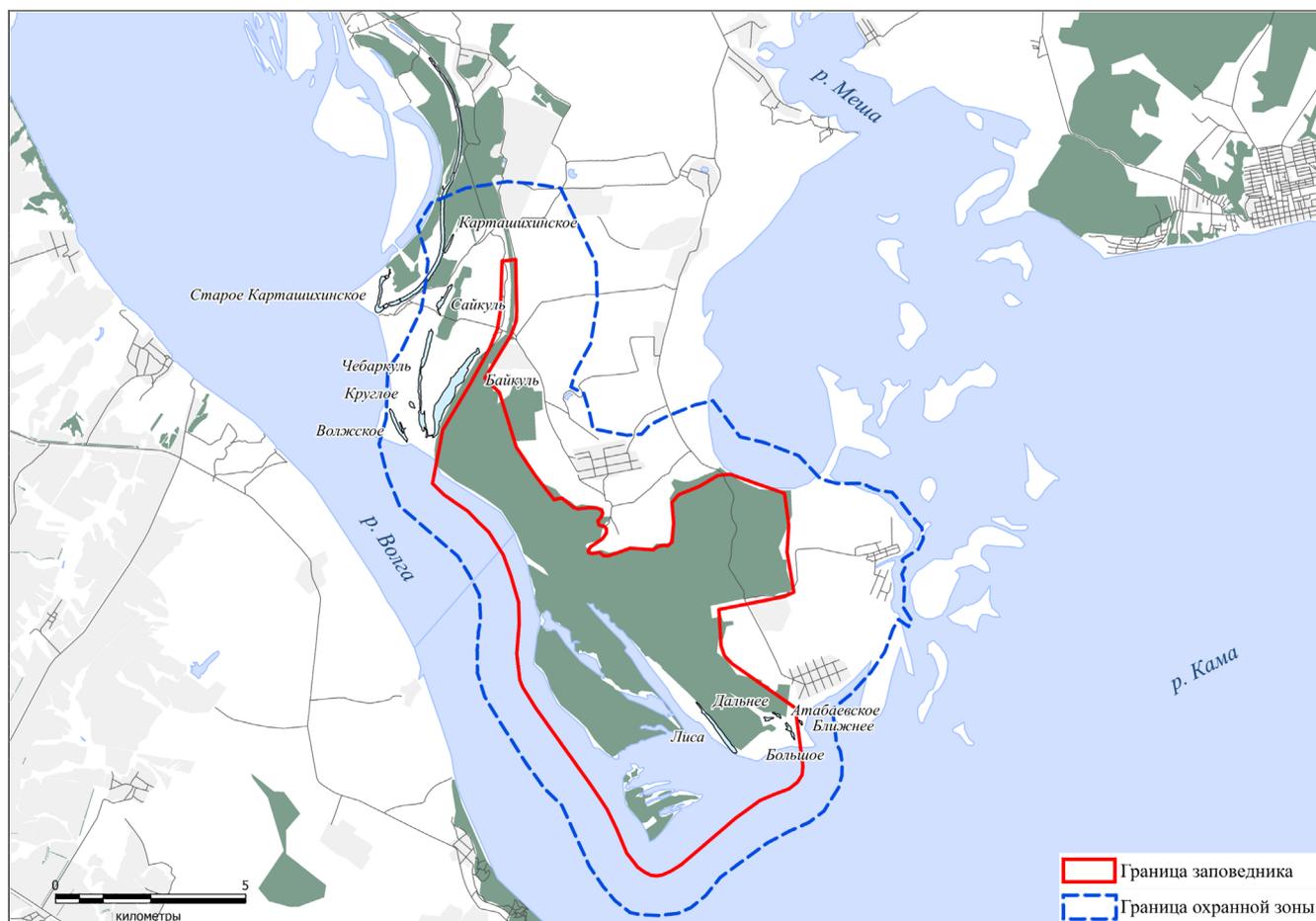
**Keywords:** Kuibyshev Reservoir; aquatic and riparian vegetation; overgrowing; remote sensing; Volga-Kama Nature Reserve.

### Введение

Истощение водных ресурсов на планете является жизненно важной проблемой современности, требующей глобальных усилий для ее решения. Нерациональное использование имеющихся водных ресурсов повлекло за собой их повсеместное истощение и ухудшение качества, выразившееся в пересыхании водных объектов, снижении качества воды, активизации про-

цессов опустынивания и засоления прибрежных земель. Одним из негативных процессов, приводящим к деградации водных объектов, является их ускоренное зарастание, приводящее к обмелению и заболачиванию водоемов, а в конечном итоге и к их полному исчезновению [1].

Поверхностные водные объекты, занимая около 7% территории Республики Татарстан, насчитывают



**Рис. 1.** Объекты исследования

14867 водных объектов<sup>1</sup>. Процессы, определяющие скорость их зарастания, до настоящего времени остаются слабо изученными. Особенно актуально изучение этой проблемы для нового типа озер, ранее не характерного для поверхностных вод суши – для отчленившихся заливов, образовавшихся в результате отделения глубоко вдающихся в сушу частей водохранилищ. В силу морфологических особенностей они более уязвимы к климатическим изменениям и антропогенному воздействию и могут полностью деградировать за короткое время, в течение нескольких десятилетий [2]. На волжском участке Куйбышевского водохранилища при отметках, приближенных к нормальному подпорному уровню (НПУ), 53 абсолютных м, отмечено более 100 отчленившихся заливов с суммарной площадью водной поверхности 770 га [5]. Зарастание таких заливов сказывается на состоянии всего водохранилища и его водосборной территории и может представлять угрозу сохранению редких и исчезающих видов и биоразнообразию.

<sup>1</sup> Водные объекты Республики Татарстан. Гидрографический справочник. Казань: Фолиант; 2018.

Особый научный интерес представляет изучение зарастания озер, находящихся на заповедных территориях с фоновым уровнем антропогенного воздействия, что делает их практически незатронутыми деятельностью человека. Результаты исследований в заповедниках могут использоваться для моделирования будущих изменений природной среды.

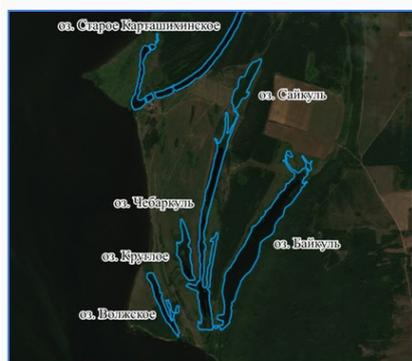
В статье представлен анализ динамики зарастания отчленившихся заливов Куйбышевского водохранилища, расположенных на территории Саралинского участка Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника (ВКГПБЗ) и его охранной зоны.

### **Объекты и методы исследования**

В качестве объектов исследования выбраны 12 озер, расположенных на территории Саралинского участка ВКГПБЗ и его охранной зоны (рис. 1).

Формирование озер как обособленных водных объектов связано с постепенным отчленением заливов Куйбышевского водохранилища, ранее образованных в результате затопления второй надпойменной терра-

Мультиспектральный снимок Sentinel 2



NDVI=(NIR-Red)/(NIR+Red)



NDVI &lt; 0,2

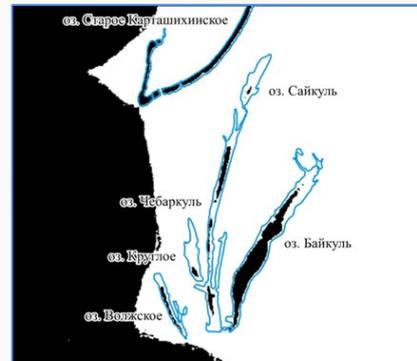


Рис. 2. Использование NDVI для дистанционной оценки зарастания озер

сы Волги и Камы водами в 1955–1957 годах. Процесс отделения происходил как естественным путем, через формирование абразионно-аккумулятивных пересыпей, так и в результате создания искусственных насыпей [3]. Основная часть озер расположена в северо-западной части Саралинского участка у бывшего с. Карташиха и в южной его части у с. Атабаево.

В качестве базовых использованы следующие материалы и информационные ресурсы: данные полевых экспедиционных исследований озер Саралинского участка ВКГПБЗ и спутниковые снимки GoogleEarthEngine и Sentinel-2.

Натурные исследования озер выполнены летом в 2021–2024 годах и включали батиметрическую съемку, описание и полевое картографирование прибрежно-водной растительности путем сплошного оконтуривания растительных группировок с помощью GPS-приемника. Для описания прибрежно-водной растительности использовалась методика В.Г. Папченкова [6].

Вычисление морфометрических показателей, построение батиметрических карт озер и карт площадей их зарастания прибрежно-водной растительностью осуществлялось в ГИС MapInfoPro 16.0.

Оценка скорости зарастания озер выполнена с помощью нормализованного вегетационного индекса (NDVI), рассчитанного на основе разновременных мультиспектральных снимков Sentinel-2 за период 2018–2024 годов<sup>2</sup>. Для расчета динамики растительного покрова на акваториях применен порог NDVI < 0,2, исключающий пиксели водной поверхности, облаков и объектов с низкой отражательной способностью в ближнем ИК-диапазоне (рис. 2).

На основе временных срезов NDVI проведено количественное сравнение оставшихся пикселей, характеризующих растительность, в пределах контуров водоемов, что позволило оценить межгодовые изменения скорости их зарастания.

Статистическая обработка данных выполнена с использованием пакета Statistica 8.0. Оценка значимости для зависимости зарастания от параметров водных объектов устанавливалась с помощью коэффициента корреляции Спирмена.

### Результаты и их обсуждение

Известно, что уровень зарастания водных объектов в значительной степени зависит от их глубины и доли мелководной зоны в общей площади [6–8]. В соответствии с ГОСТ<sup>3</sup>, исследуемые озера по основным морфометрическим показателям можно отнести к категории водоемов с малой площадью, малым объемом воды и очень малой глубиной водоема (табл. 1), что обусловлено их генезисом.

Доля мелководий с глубинами до 2 м колеблется от 23,6 (Байкуль) до 99,4% (Ближнее) и у большей части озер превышает 50%. Нами установлена положительная корреляция между зарастанием озер и площадью литорали ( $r = 0,94$ ;  $p < 0,05$ ). Береговая линия в основном имеет довольно изрезанную конфигурацию, озерные котловины удлинены, вытянуты в виде борозды, что также подтверждается высоким коэффициентом корреляции ( $r = 0,84$ ;  $p < 0,05$ ).

Глубины равномерно увеличиваются от берега к срединной линии озер (рис. 3). Сложившиеся благоприятные условия приводят к массовому развитию прибрежно-водной растительности, а высокая биологическая продуктивность способствует их прогрессирующему заилению и ускоренному зарастанию [4]. Вышесказанное утверждение подтверждается положительной корреляцией между зарастанием озера и долей илестых частиц в составе донных отложений озер литорали ( $r = 0,71$ ;  $p < 0,05$ ).

Прибрежно-водная растительность озер представлена преимущественно тростниково-рогозовыми ассоциациями с доминированием тростника южного

<sup>2</sup> Copernicus Open Access Hub. <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>.

<sup>3</sup> ГОСТ Р 59054–2020. Охрана окружающей среды. Поверхностные и подземные воды. Классификация водных объектов.

Табл. 1

Морфометрические показатели озер

Озеро	Площадь, га	Объем, тыс. м <sup>3</sup>	Длина, м	Литораль, %	Ширина, м		Глубина, м		Коэффициенты		Длина береговой линии, м
					сред.	макс.	сред.	макс.	удлиненности	изрезанности	
Байкуль	52,2	747,5	2707	23,6	193	306	1,4	2,7	14,1	2,3	5822
Ближнее	0,4	3,4	151	99,4	44283	58	0,8	1,2	5,3	1,6	378
Волжское	8,7	105,2	993	38	88	101	1,2	2,3	11,3	2,7	2813
Карташихинское	58,2	465,4	7476	55,1	78	172	0,8	2,7	96,1	6,2	16738
Круглое	1,5	12,2	218	50,1	70	106	0,8	1,3	3,2	1,2	511
Сайкуль	5,8	33,2	923	98,7	64	127	0,6	1	14,5	2,4	2114
Старое Карташихинское	10,6	158,9	1561	25	68	161	1,5	2,9	23	3,1	3595
Чебаркуль	22,9	257,6	2962	24,8	77	150	1,1	2,7	38,4	3,9	6749
Атабаевское	1	9,3	275	64,3	37,7	71,8	0,9	1,4	7,3	1,8	639,8
Большое	2,9	32,4	506	78,6	58,2	141	1,1	1,7	8,7	2,1	1255,7
Дальнее	1,5	13,1	269	89,5	54,2	90,5	0,9	1,3	5	1,5	660,8
Лиса	14,8	34,1	1713	81,9	86,6	121	0,2	1	86,6	2,6	3541

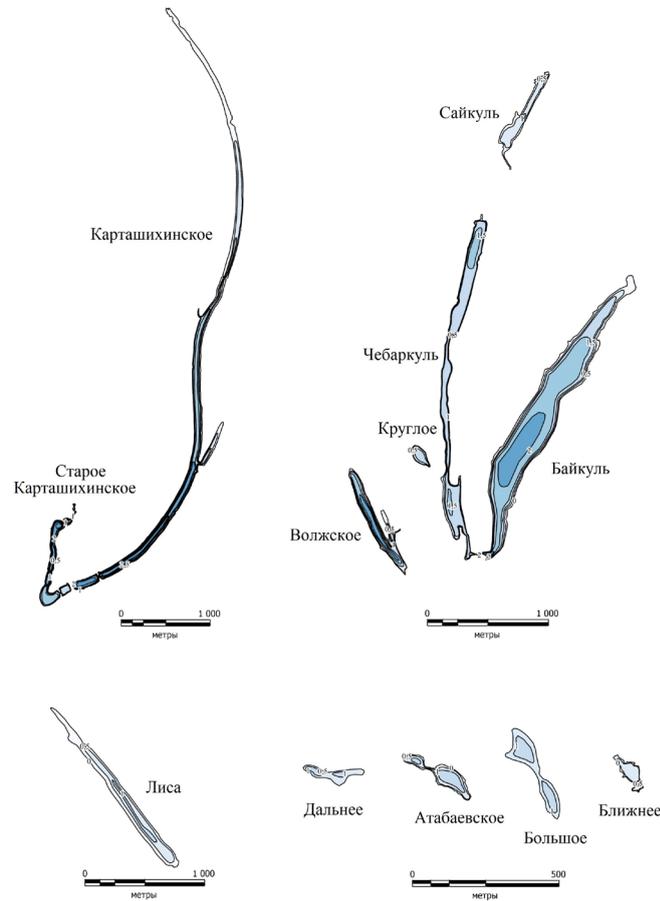


Рис. 3. Батиметрические карты озер

(*Phragmites australis*) и рогоза узколистного (*Typha angustifolia* L.) (рис. 4).

Ширина прибрежных зарослей колеблется от 5 до 200 м, а максимальные ее значения характерны для Атабаевских озер (Атабаевское, Большое и Дальнее), ранее составлявших единый водоем. В основном ширина мелководной части озер, занятой макрофитами, составляет 20–30 м. Рогоз узколистный местами далеко заходит в воду от кромки берега (до 30 м). Тростник обыкновенный распространен вдоль всей береговой линии большей части озер, занимая всю мелководную зону до глубины 1,5 м (рис. 5).

Отсутствие крупных тростниковых зарослей отмечается лишь на тех участках, где литораль практически отсутствует, таких как Карташихинское и Старое Карташихинское, котловина которых имеет корытообразную форму (рис. 5).

По степени зарастания, согласно классификации В.Г. Папченко [6], рассматриваемые водоемы распределяются на 5 классов (рис. 6):

1) не заросшие или почти не заросшие – площадь зарослей менее 1% площади акватории (Старое Карташихинское);

2) очень слабо заросшие – площадь зарослей 1–5% (Карташихинское);

3) умеренно заросшие – площадь зарослей 11–25% (Байкуль, Волжское, Лиса);

4) сильно заросшие – площадь зарослей 41–65% (Сайкуль, Чебаркуль);

5) очень сильно заросшие – 66–95% (Атабаевские озера, Ближнее, Круглое).

Очень сильно заросшие озера при сохранении текущих темпов зарастания прекратят свое существование как водные объекты в ближайшие десятилетия.



**Рис. 4.** Прибрежно-водная растительность некоторых озер

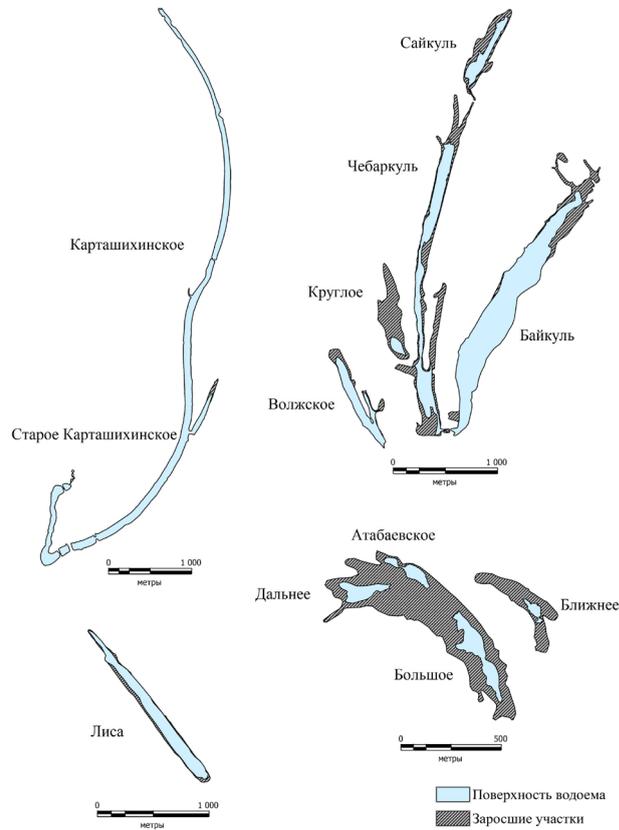


Рис. 5. Зарастание озер

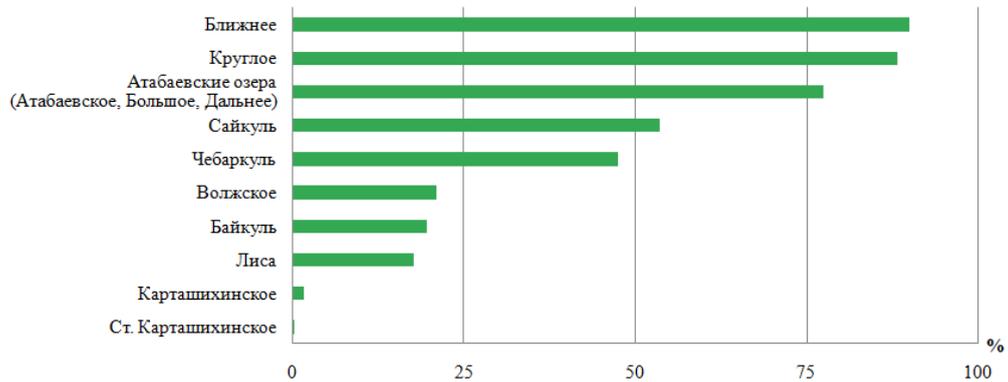


Рис. 6. Степень зарастания озер

тилетия. Колебания уровня Куйбышевского водохранилища мало влияют на площадь зарастания озер. В 2024 году, когда весь год отмечались приближенные к НПУ значения, площадь распространения прибрежно-водной растительности кардинально не менялась.

Значительная площадь зарастания прибрежно-водной растительностью характерна для Атабаевских озер (Атабаевское, Большое и Дальнее), которые ранее составляли единый водоем площадью 24 га. В дальнейшем единое озеро распалось на три самостоятельных водоема (рис. 5).

## Динамика зарастания озер

Озеро	Количество пикселей с NDVI > 0,2		Динамика зарастания 2018–2024 годы	
	2018 год	2024 год	м <sup>2</sup>	%
Карташихинское	1818	2000	2366	10,0
Байкуль	1692	1813	1573	7,2
Чебаркуль	2067	2068	13	0,1
Лиса	1264	1508	2440	19,3
Старое Карташихинское	193	190	0	0
Волжское	483	511	364	5,8
Сайкуль	696	736	520	5,8
Ближнее	430	430	0	0,0

Значительные изменения произошли и с оз. Ближнее, возникшим на месте бывшего с. Табаево, которое попало в зону затопления при создании водохранилища. Водоем к настоящему времени сильно зарос, потеряв 90% первоначальной площади открытой акватории (рис. 5).

Минимальной степенью зарастания отличается озеро Старое Карташихинское, что объясняется регулярной связью с р. Волгой в половодье и особенностями морфологического строения озерной котловины, которые не способствуют развитию прибрежно-водной растительности (рис. 6).

Таким образом, более крупные озера (Карташихинское, Байкуль, Старое Карташихинское, Лиса) менее подвержены негативным последствиям зарастания макрофитами, мелкие же озера (Ближнее, Круглое, Атабаевские озера) с незначительной глубиной находятся в зоне риска их скорого исчезновения.

На основе данных о площадях акваторий, подвергшихся зарастанию, и времени, за которое этот процесс произошел, можно с определенной долей условности рассчитать среднюю скорость зарастания. Это позволяет прогнозировать время полного исчезновения озер при сохранении текущих темпов зарастания: Атабаевские озера могут полностью зарости в течение ближайших 15 лет; озера Сайкуль и Чебаркуль – в течение 50 лет; озера Волжское, Байкуль и Лиса – в течение 200 лет; озера Карташихинское и Старое демонстрируют значительно более высокую устойчивость к зарастанию, и их полное зарастание прогнозируется на более отдаленный срок.

На основе анализа данных NDVI установлено, что наибольшая скорость зарастания отмечается у более крупных озер и глубоких, таких как Карташихинское, Байкуль и Лиса (табл. 2).

В то же время небольшие по площади и мелкие по глубине Атабаевские озера, и озеро Круглое, демонстрируют нулевую или даже отрицательную динамику зарастания, что может быть связано с ограничениями метода NDVI при анализе небольших объектов.

### Заключение

Проведенный анализ разновременных космических снимков высокого пространственного разрешения и данных полевых наблюдений показал, что степень зарастания отчлененных заливов Куйбышевского водохранилища, расположенных на территории Саралинского участка Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника и его охранной зоны, прибрежно-водной растительностью варьирует от 2 до 90% в зависимости от морфометрических особенностей озер. Среднюю скорость зарастания озер прибрежно-водной растительностью можно оценить в 1206 м<sup>2</sup> в год. Критической степенью зарастания характеризуются Атабаевские озера и озеро Круглое, которые при сохранении существующих темпов зарастания полностью исчезнут как водные объекты в ближайшие десятилетия.

Зарастание водоемов прибрежно-водной растительностью приводит к заилению и уменьшению площади водоемов, при отмирании и разложении фитомассы происходит вторичное загрязнение водоемов. Однако заросли прибрежно-водной растительности играют важную экологическую роль, служа местом гнездования для водоплавающих птиц, создавая благоприятные условия для размножения рыб, подавляя развитие сине-зеленых водорослей, являясь естественным фильтром, очищая воду. Таким образом, процесс зарастания имеет как негативные, так и позитивные аспекты, влияя на биоразнообразие и устойчивость экосистемы.

Проведенный анализ зарастания водоемов имеет значение для понимания состояния водных систем и оценки их устойчивости в долгосрочной перспективе. Полученные результаты исследования могут быть использованы в целях организации и проведения фоновых мониторингов водных экосистем заповедника, а также при разработке прогнозов социально-экономического развития Республики Татарстан и принятии соответствующих решений.

## Литература

### Список русскоязычной литературы

1. Авакян АБ, Широков ВМ. Комплексное использование и охрана водных ресурсов. Минск: Университетское; 1990.
2. Зиганшин ИИ, Иванов ДВ, Хасанов РР. Динамика морфометрических параметров Атабаевских озер Волжско-Камского заповедника. В кн.: Экология родного края: проблемы и пути их решения. Материалы XVI Всерос. науч.-практической конф. с междунар. участием. Киров; 2022. С. 85-9.
3. Зиганшин ИИ, Иванов ДВ, Хасанов РР. Генезис и морфометрическая характеристика озер охранной зоны Саралинского участка Волжско-Камского заповедника. Российский журнал прикладной экологии. 2021;(1):36-43. doi: 10.24411/2411-7374-2020-10039.
4. Зиганшин ИИ, Иванов ДВ, Хасанов РР. Осадконакопление в озерах охранной зоны Саралинского участка Волжско-Камского заповедника. Российский журнал прикладной экологии. 2021;(2):47-52. doi: 10.24852/2411-7374.2021.2.47.52.
5. Зиганшин ИИ, Иванов ДВ, Хасанов РР, Кочетков ДА. Генезис и морфометрические особенности отчлененных заливов Казанского района переменного подпора Куйбышевского водохранилища. Российский журнал прикладной экологии. 2024;(4):10-7. doi: 10.24852/2411-7374.2024.4.10.17.
6. Папченков ВГ. Закономерности зарастания водотоков и водоемов. Экология. 2003;(1):18-22.
7. Папченков ВГ. Растительный покров водоемов и водотоков Среднего Поволжья. Ярославль: ЦМП МУБиНТ; 2001.
8. Папченков ВГ, Папченкова ГА. Динамика и зарастание водохранилищ Волги. Водные ресурсы. 2020;(4):402-10. doi: 10.31857/S0321059620040112.
9. Поддубный СА, Папченков ВГ, Чемерис ЕВ, Бобров АА. Зарастание защищенных мелководий верхневолжских водохранилищ в связи с их морфологией. Биология внутренних вод. 2017;(1):65-73. doi: 10.1134/S0320965218030142.

### Общий список литературы/References

1. Avakian AB, Shirokov VM. Kompleksnoye Ispol'zovaniye Okhrana Vodnykh Resursov. [Integrated Use and Protection of Water Resources]. Minsk: Universitetskoye; 1990. (In Russ.)
2. Ziganshin II, Ivanov DV, Khasanov RR. [The dynamics of morphometric parameters of the Atabaevsky lakes of Volga-Kama Reserve]. In: Ekologiya RodnogoKraya: Problemyi PutiIkh Resheniya. Kirov; 2022. P. 85-9. (In Russ.)
3. Ziganshin II, Ivanov DV, Khasanov RR. [Genesis and morphometric characteristics of lakes in the protected area of the Saralinsky section of the Volga-Kama Reserve]. Rossiyskiy Zhurnal Prikladnoy Ekologii. 2021; (1):36-43. (In Russ.). doi: 10.24411/2411-7374-2020-10039.
4. Ziganshin II, Ivanov DV, Khasanov RR. [Sedimentation in lakes of the protected area of the Saralinsky section of the Volga-Kama Reserve]. Rossiyskiy Zhurnal Prikladnoy Ekologii. 2021; (2):47-52. (In Russ.). doi: 10.24852/2411-7374.2021.2.47.52.
5. Ziganshin II, Ivanov DV, Khasanov RR, Kochetkov DA. [Genesis and morphometric features of the isolated gulfs of the Kazan region of the variable reservoir of the Kuibyshev reservoir]. RossiyskiyZhurnalPrikladnoyEkologii. 2024;(4):10-7. (In Russ.). doi: 10.24852/2411-7374.2024.4.10.17.
6. Papchenkov VG. [Patterns of overgrowth of watercourses and reservoirs]. Ekologiya. 2003;(1):18-22. (In Russ.)
7. Papchenkov VG. Rastitelnyi Pokrov Vodoyomovi Vodotokov Srednego Povolzhya. [Vegetation Cover of Reservoirs and Watercourses of the Middle Volga Region]. Yaroslavl: TsMPMUBiNT; 2001. (In Russ.)
8. Papchenkov VG, Papchenkova GA. [Dynamics and overgrowth of Volga reservoirs]. VodnyeResursy. 2020;(4):402-10. (In Russ.). doi: 10.31857/S0321059620040112.
9. Poddubnyi SA, Papchenkov VG, Chemeris EV, Bobrov AA. [Overgrowth of the protected shallow waters of the Upper Volga reservoirs in connection with their morphology]. BiologiyaVnutrennikhVod. 2017;(1):65-73. (In Russ.). doi: 10.1134/S0320965218030142.

# СООБЩЕСТВО МОРСКОГО ПЛАНКТОНА КАК АКТИВНАЯ СРЕДА

М.А. Гладыш<sup>1</sup>, Н.С. Челядина<sup>2</sup>, А.В. Кузнецов<sup>1, 2\*</sup>

<sup>1</sup> Севастопольский государственный университет, Севастополь,

и <sup>2</sup> Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

\* Эл. почта: kuznet61@gmail.com

Статья поступила в редакцию 01.04.2025; принята к печати 23.05.2025

Изучен видовой состав прибрежного микропланктона и его динамика в зависимости от сезонных до суточных изменений и географических особенностей в период с 2022 по 2024 год на шести экспериментальных станциях, расположенных вдоль побережья от северной части Севастополя до южного берега Крыма. Методы исследования включают морфологический анализ проб, отобранных с использованием установки последовательной фильтрации Biber-2, а также анализ спутниковых данных с группировки Sentinel-3. Спутниковые наблюдения содержат информацию о температуре воды, солености, значении pH, содержании кислорода и хлорофилла *a*. Статистический анализ и визуализацию проводили средствами R. Имитационное моделирование динамики морского планктона осуществляли с помощью собственной компьютерной программы *planctonBCR.py*, описывающей взаимодействия между различными видами/морфотипами планктона. Результаты исследования показывают, что биоразнообразие планктонных организмов растет с усложнением рельефа дна. Наибольшее число видов микропланктона было обнаружено на станции Форос в районе с большим перепадом высот и глубин. Отмечены обратные зависимости между сезонными изменениями температуры воды и содержанием хлорофилла. Исследования суточных проб и границ отдельных спутниковых пикселей в 3 км показали существенную изменчивость планктонного сообщества за короткие промежутки времени и на небольших пространственных масштабах. Стохастическое распределение микропланктона во времени и пространстве может быть вызвано автоволновыми процессами в сложном сообществе гидробионтов. Компьютерное моделирование подтверждает роль планктонного сообщества в формировании сложной динамики морской экосистемы, дополняя полевые исследования и спутниковые наблюдения. Поднимается вопрос о возможной фрактальности этих проявлений на масштабной шкале и наличии масштабной инвариантности в распределении планктона. Выводы исследования указывают на важность учета микроэкологических процессов в изучении морских экосистем. Полученные данные подтверждают, что биоразнообразие и динамика планктонных сообществ являются ключевыми факторами в поддержании стабильности и функционирования морских экосистем.

**Ключевые слова:** Черное море, микропланктон, микроскопия, биоразнообразие, вариативность, спутниковые данные.

## MARINE PLANKTON COMMUNITY AS AN ACTIVE MEDIUM

M.A. Gladysh<sup>1</sup>, N.S. Cheliadina<sup>2</sup>, A.V. Kuznetsov<sup>1, 2\*</sup>

<sup>1</sup> Sevastopol State University and

<sup>2</sup> A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of the Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia

\* Email: kuznet61@gmail.com

Species composition of coastal microplankton and its dynamics in response to seasonal and diurnal changes and geographical features were studied in the years 2022 through 2024 at six experimental stations located along seacoast from the northern part of Sevastopol to the southern part of Crimea. Study methods included morphological analysis of samples collected using the Biber-2 sequential filtration apparatus and analysis of satellite data provided by the Sentinel-3 constellation, which included information on water temperature, salinity, pH, oxygen content, and chlorophyll-*a* concentration. Statistical analysis and visualization were performed using R programming language. The dynamics of marine plankton was simulated using a custom computer program, *planctonBCR.py*, which models interactions between different plankton species/morphotypes. The results suggest that plankton biodiversity increases with increasing seafloor complexity and is the highest at the Foros station, where there are significant seafloor elevations and depressions. Inverse relations were found between seasonal changes in water temperature and chlorophyll content. Investigations of daily series of samples and the boundaries of 3-km pixels of images obtained from satellites revealed significant variability in plankton communities over short time intervals and small spatial scales. The stochastic distribution of microplankton in time and space may be driven by autowave processes within a complex community of hydrobionts. Computer-assisted simulations confirms the role of plankton communities in shaping the complex dynamics of marine ecosystems and complements field studies and satellite observations. The study raises the issue of the possible fractality of the phenomena observed on the spatial scale and of scale invariance in plankton distribution. The results highlight the importance of considering microecological processes in the study of marine ecosystems and confirm that biodiversity and the dynamics of plankton communities are key factors in maintaining the stability and functioning of marine ecosystems.

**Keywords:** Black Sea, microplankton, microscopy, biodiversity, variability, satellite data.

## Введение

Сравнительный анализ микропланктона представляет значительный интерес в контексте понимания того, как в окружающей нас среде происходят экологические процессы и изменения [1–4]. Поскольку планктонное сообщество является существенным компонентом морских экосистем, изучение колебаний его численности и распределения помогает понять механизмы функционирования, а также поддержания стабильности и биологического разнообразия в экосистемах [5–8]. В настоящее время активный спутниковый мониторинг позволяет получать данные о концентрации хлорофилла *a* и других параметрах морских экосистем на глобальном уровне [9–14]. В частности, спутниковые данные были использованы для изучения сезонной динамики фитопланктона в Северной Атлантике [15]. Кроме того, сенсоры, такие как Ocean Colour Monitor (ОСМ) на космическом аппарате EOS-06, позволяют наблюдать за концентрацией хлорофилла *a* с периодичностью 2 суток [16]. Эти мониторинговые данные важны для оценки состояния экосистем и их изменения в связи с климатическими и антропогенными воздействиями.

Следует отметить, что планктон предоставляет энергию и питательные вещества для верхних уровней пищевой сети. Диатомовые и динофитовые водоросли, входящие в состав микропланктона, играют ключевую роль в экосистеме морей и океанов. Они являются основным источником пищи для многих морских организмов, включая мелких рыб, креветок и других гидробионтов [17, 18]. Микроводоросли образуют кислород в процессе фотосинтеза, обеспечивая им живые организмы, и способствуют поддержанию динамического равновесия в водных экосистемах [19, 20]. Сообщества микропланктона являются важным индикатором состояния водных экосистем. Считается, что вариации в составе и разнообразии планктонных организмов могут указывать на возможные изменения в окружающей среде, включая загрязнение и изменения кислотности и температуры воды [3, 21]. Фитопланктон также принимает участие в фиксации углерода, поскольку в процессе фотосинтеза микроводоросли поглощают углекислый газ и превращают его в органические вещества. Часть этого углерода может акцептироваться бентосными сообществами [8], что способствует уменьшению содержания углекислого газа в атмосфере и влияет на глобальные климатические процессы [7, 22].

Исследованию фитопланктона Черного моря посвящено множество работ, например [23–26]. Изучение фитопланктона в окрестностях Гераклеийского полуострова было инициировано Н.В. Морозовой-Водяницкой в середине прошлого столетия [27] и продолжено ее последователями [28–32]. Так, в 2003 году [33] было показано, что видовое разнообразие план-

ктонного сообщества в изучаемом районе колеблется в пределах от 150 до 200 видов. Сезонная динамика фитопланктона характеризуется последовательной и закономерной сменой доминирующих видов на определенных участках в течение года [34]. В частности, в зимний, весенний и осенний периоды в Севастопольской бухте доминируют диатомовые водоросли, в то время как в летний период наблюдается преобладание динофитовых водорослей. В январе-феврале отмечается интенсивное развитие диатомеи *Skeletonema costatum*, а в апреле-мае – различных видов рода *Chaetoceros*. Также были выявлены несколько циклов развития фитопланктона в течение года с периодичностью от 0,5 до 2 месяцев. Замечено, что максимумы численности водорослей и концентрации хлорофилла *a*, как правило, обусловлены одним или несколькими доминирующими видами, причем в холодный период года смена доминирующих видов происходит более интенсивно при сравнении с теплым сезоном [35, 36]. Эти наблюдения подтверждают важность сезонных изменений в структуре фитопланктона [37, 38]. В последнее время наземные исследования в районе Севастополя были дополнены дистанционным спутниковым зондированием [12, 39, 40]. Спутниковые наблюдения, как отмечалось, позволяют оценить концентрацию хлорофилла *a* и другие биооптические характеристики на более крупных пространственных масштабах, что важно для понимания региональных и глобальных экологических циклов.

В целом, мельчайшие организмы, формирующие зоо- и фитопланктон, играют важную роль в формировании биологического разнообразия, в стабильном функционировании экосистем и в поддержании глобальных экологических процессов [7, 41, 42]. Стоит подчеркнуть, что морские экосистемы отличаются от пресноводных и сухопутных сообществ необычайной вариативностью и динамичностью [17, 43–49]. Это обусловлено сложностью физических, химических и биологических процессов, которые взаимодействуют на разных пространственных и временных масштабах. В частности, морские экосистемы подвержены влиянию глобальных течений, сезонных изменений и локальных гидродинамических процессов, что приводит к высокой изменчивости биоразнообразия и функционирования экосистем [8, 20]. Кроме того, эти особенности затрудняют сбор, обработку и интерпретацию мониторинговых данных [50, 51]. Традиционно исследования посвящаются изучению биоразнообразия и описанию динамики планктона<sup>1</sup> [52–55]. Однако работы [56, 57] свидетельствуют о важности использования интегративного подхода в изучении динами-

<sup>1</sup> ЦКП «Коллекция диатомовых водорослей Мирового океана», [ФИЦ ИнБИОМ]. Доступно по ссылке: [https://ibss-ras.ru/about-ibss/structure-ibss/tentry-kollektivnogo-polzovaniya/collection-of-diatoms-of-world-ocean/catalogues-of-collections.php].

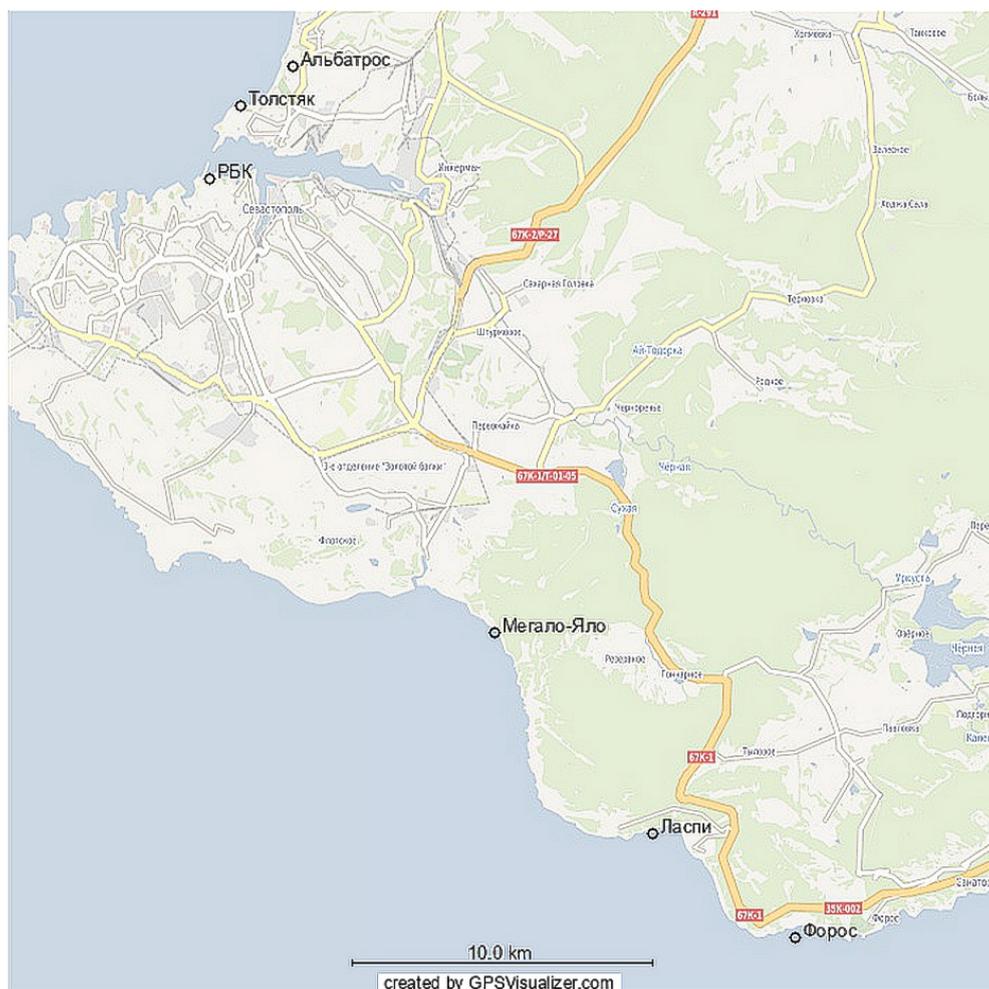
ки морского планктона и его роли в экосистемных процессах. Важны также форма свертки информации [58] и поиск связей между микро- и макро-наблюдениями [59–61].

Итак, изучение микропланктонных сообществ на разных уровнях остается крайне актуальным. В данной статье представлены результаты изучения вариативности морского микропланктона на разных временных и пространственных масштабах с целью воссоздать картину его динамики и лучше понять природу, причины и последствия его изменений. Для этого проведены полевые исследования побережья Гераклейского полуострова с его окрестностями и сопоставление полученных результатов со спутниковыми данными, картина наблюдаемых вариаций дополнена имитационным моделированием. Такая методология позволила нам получить более полное и наглядное представление о морском планктоне в районе Гераклейского полуострова.

## Материалы и методы

### Экспериментальные станции

Исследования проведены в 2022–2024 годах на 6 прибрежных станциях, расположенных на участке от северной части Севастополя до южного берега Крыма (ЮБК), а именно от пляжа Альбатрос в районе Учкеевки возле базы отдыха Мокроусова с географическими координатами 44.660N, 33.543E до пляжа в Форосе с координатами 44.387N, 33.775E. Эти крайние станции существенно различаются по географическому ландшафту, и для них существуют два независимых множества спутниковых данных. Так, для района Учкеевки характерна пологая местность, а для района Фороса отмечен большой перепад высот и глубин. Станция на пляже Толстяк (44.638N, 33.521E) расположена на севере Севастополя в пределах спутникового пикселя от ст. Альбатрос. Здесь собирали данные для сравнения со ст. Альбатрос, находящейся на удалении 3 км. Станция в районе радиобиологического кор-



**Рис. 1.** Расположение экспериментальных станций: пляж Альбатрос – Учкеевка (44.650N, 33.543E), пляж Толстяк – Северная сторона (44.638N, 33.521E), РБК – ИнБЮМ, черта г. Севастополь (44.616N, 33.508E), залив Мегало-Яло (44.479N, 33.628E), бухта Ласпи (44.418N, 33.695E), пляж Форос – ЮБК (44.387N, 33.775E)

пуса (РБК) Института биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН с координатами 44.616N, 33.508E была выбрана в качестве контрольной, так как на ней проводятся круглогодичные замеры. Станция в заливе Мегало-Яло (44.479N, 33.628E) использовалась для сравнения наземных измерений и спутниковых наблюдений. Наконец, ст. Ласпи (44.418N, 33.695E) послужила для изучения суточных вариаций микропланктона (рис. 1). Таким образом, выбор экспериментальных станций позволяет нам получить полное представление о действующей экосистеме и о региональных особенностях.

**Сбор проб при помощи установки последовательной фильтрации Biber-2**

Устройство Biber-2 представляет собой набор пластиковых труб, которые можно вставлять одну в другую, причем в местах состыковки ставятся прокладки с ячейками разного размера и фильтрующие ткани. На входе трубы расположена воронка, снабженная предварительным металлическим ситом с ячейками размером 2 мм и резиновым водорассекателем над ним с отверстиями 3–5 мм. На концах «трубы» расположены муфты с карабинами, через которые продевается

репшнур, скрепляющий всю конструкцию. При выборе размеров отверстий последовательных сит для отбора интересующих фракций принималось во внимание постоянство отношения размеров отверстий смежных сит, равное 2. Использовали установку из 5 секций с размером фильтрующих ячеек 300, 150, 84 и 2–5 мкм. Пробы отбирали с поверхности воды мерным ведром и осторожно пропускали до 100 л воды с помощью лейки через фильтрующее устройство Biber-2, установленное в виде треноги (рис. 2).

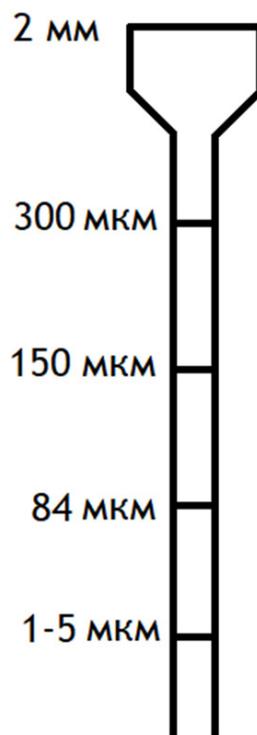
**Световая и электронная микроскопия**

Собранный биоматериал смывали с фильтров искусственной морской водой с концентрацией солей 18‰ и фиксировали 2,5% глутаровым альдегидом. Затем фиксированные образцы изучали под световыми микроскопами Stemi 305 (Zeiss, Германия) и Eclipse Ts2R (Nikon, Япония), а после соответствующей подготовки и напыления смесью золота с платиной исследовали под сканирующим электронным микроскопом SU3500 (Hitachi, Япония). В ходе микроскопического анализа выделяли отдельные морфотипы биообъектов [62] и определяли отдельные виды, используя определители [52, 63–65] и помощь экспертов.

а



б



**Рис. 2.** Устройство последовательной фильтрации Biber-2 в сборе (а) и его схема (б)

### Спутниковый мониторинг, анализ данных и имитационное моделирование

Мониторинг проводили, используя базу данных с открытым доступом<sup>2</sup> спутниковой группировки Sentinel-3. Спутниковые данные включали информацию о температуре воды, солености, значении pH, содержании кислорода и хлорофилла. Статистический анализ данных и визуализацию проводили с помощью программ на языке R. Имитационное моделирование динамики морского планктона осуществляли в вычислительной среде Python с помощью собственной компьютерной программы *planctonBCR.py*, описывающей взаимодействия между различными видами/морфотипами планктона. Это позволило нам лучше понять сложную динамику планктонного сообщества на разных временных и пространственных масштабах [66–68].

Код программы *planctonBCR.py* (Приложение 1)<sup>3</sup> основан на следующих принципах. Используются реакционно-диффузионные уравнения с явной разностной схемой. Временная дискретизация реализована через двойную буферизацию (массивы  $\text{arr}[0]$  и  $\text{arr}[1]$ ). Пространственные взаимодействия моделируются через свертку с ядром  $3 \times 3$ . Триpletные взаимодействия между видами описываются моделью Лотки-Вольтерры с параметрами:  $\alpha$  ( $A \rightarrow B^+/C^-$ ),  $\beta$  ( $B \rightarrow C^+/A^-$ ),  $\gamma$  ( $C \rightarrow A^+/B^-$ ). Операции свертки оптимизированы через `scipy.signal.convolve2d` с использованием периодической границы (`boundary = 'wrap'`). Нормировка концентраций происходит в диапазоне  $[0, 1]$ . Анимация реализована через `matplotlib.animation`. Использована цветовая карта `winter` для отображения плотности и кадровая частота 30 fps при сохранении видео.

### Результаты

#### Определение видового состава микропланктона на экспериментальных станциях

Эти данные служат основой для дальнейшего анализа структурной динамики планктона на различных станциях. Так, на ст. РБК при медленной подаче воды из лейки с узким горлышком в фильтрационную установку Viber-2 на сите с ячейками размером 300 мкм обнаруживались остатки макрофитов, обрывки цепочек микроводорослей, а также веслоногие рачки (копеподы из отрядов *Calanoida* и *Cyclopoidea*) и водяные блохи – дафнии, такие как *Pleopsis polyphemoides*. Было выявлено 4 разных вида веслоногих ракообразных, среди них копеподы *Acartia clausi* и *Paracalanus parvus*.

На сите с ячейками 150 мкм преобладали планктонные личинки веслоногих ракообразных – науплии. Найдены морские динофитовые водоросли *Ceratium tripos*, *Ceratium furca* и *Ceratium fusus*, диа-

томовые водоросли *Pseudosolenia calcar-avis* и диатомеи рода *Chaetoceros*. Обнаруживались динофлагелляты рода *Peridinium* (3 вида), пеннатная диатомовая водоросль *Thalassionema nitzschioides* и диатомовые водоросли *Coscinodiscus* spp.

На сите с величиной ячеек 84 мкм попадались бронированные динофлагелляты рода *Peridinium*, диатомовые водоросли рода *Coscinodiscus* (2 вида), а также панцирные жгутиконосцы *Ceratium tripos*. Кроме того, на всех станциях встречались шарообразные цисты одноклеточных водорослей размером около 100 мкм, а также отдельные особи мелких личинок и яйца морских обитателей (рис. 3).

При изучении самой мелкой размерной фракции планктона от 2–5 до 150 мкм под световым микроскопом при увеличении 400 крат были найдены многочисленные представители динофитовых и диатомовых водорослей, а также инфузории тинтиниды. При помощи электронной микроскопии идентифицированы отдельные представители диатомовых водорослей (рис. 4).

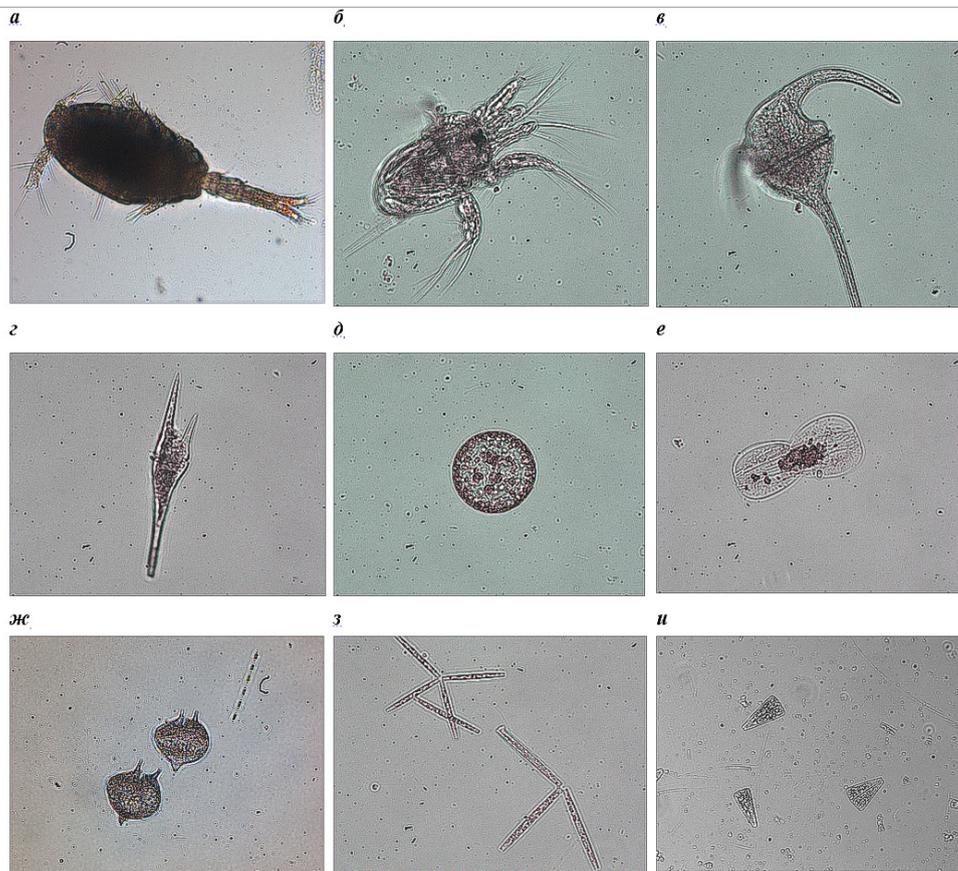
Всего за цикл исследования в 2022 году на ст. РБК было обнаружено 63 вида планктонных организмов (приложение 2). Из них чаще всего встречались колониальные диатомовые водоросли *Licmophora ehrenbergii*, *Licmophora flabellata* и *Licmophora gracilis*, крупноклеточная диатомея *Pseudosolenia calcar-avis* и одноклеточная динофитовая водоросль *Ceratium tripos*. К редким видам можно отнести фотосинтезирующую динофлагелляту *Dinophysis caudata* с хлоропластами и большим ядром, размножающуюся путем бинарного деления, гетеротрофную динофлагелляту *Gyrodinium tusiforma*, которая предположительно питается диатомовыми водорослями, морскую диатомею *Hyalodiscus scoticus* и диатомовую водоросль *Melosira moniliformis*, известную как индикатор неблагоприятного экологического состояния среды (рис. 5).

Биоразнообразие изученного микропланктона увеличивалось в ряду станций Альбатрос, РБК, Форос. Так, число морфотипов при отборе проб зимой составило 9 для ст. Альбатрос, 10 – для РБК и 19 – для станции в Форосе. Среди преобладающих видов на ст. Альбатрос выделены *Ceratium furca*, *Licmofora gracilis*, *Proteperididium steinii* и *Thalassionema costatum*. На РБК в отдельные сезоны преобладали колонии ликмофоры, а также одиночные планктонные организмы *Chaetoceros curvisetus*, *Skeletonema costatum* и *Thalassionema costatum*. Больше всего видов в отдельных пробах отмечено для станции Форос, например, *Ceratium tripos*, *Coscinodiscus gigas*, *Dictiocha speculum*, *Licmofora gracilis* и *Proteperididium steinii* (табл. 1).

В целом зафиксировано возрастание общей биомассы на ситах с уменьшением размера ячеек, а также увеличение числа видов во фракциях планктона

<sup>2</sup> Copernicus Marine Service. Available at: <https://marine.copernicus.eu/>.

<sup>3</sup> Это и другие приложения доступны в виде вложений в файл pdf этой статьи на сайте журнала «Биосфера».



**Рис. 3.** Световая микроскопия некоторых представителей планктонных организмов: а) веслоногий рачок – циклоп, семейство Oithonidae; б) личинка копеподы (Copepoda) – науплия; в) панцирный жгутиконосец *Ceratium tripos*; г) динофитовая микроводоросль *Ceratium furca*; д) крупная диатомея *Coscinodiscus* sp.; е) пеннатная диатомовая водоросль *Entomoneis* sp.; ж) бронированные динофлагеллаты рода *Peridinium*; з) диатомовые микроводоросли *Thalassionema nitzschioides*; и) отдельные диатомеи *Licmophora gracilis*, увеличение от 50 до 400 крат

уменьшающегося размера. Таким образом, общая «биомасса» и богатство видов планктона увеличивается по мере уменьшения размеров ячеек сит и пор.

**Динамика спутниковых показателей на станциях Альбатрос и Форос за год**

Понимание изменений метеорологических показателей на отдельных станциях может помочь в установлении связи между физическими факторами и динамикой микропланктона. Для выявления трендов использовали спутниковые данные по температуре, солености, значению рН, содержанию кислорода и хлорофилла (табл. 2). Анализ данных для станций Альбатрос (Учкуевка) и Форос (ЮБК) за январь-март показал, что температура воды увеличилась с 8,3–8,5 °С в январе и до 9,0–9,2 °С в марте, а соленость возросла с 18,3–18,5 до 18,7–18,8‰, соответственно. Значения рН оставались стабильными, с небольшим увеличением от 8,0–8,1 до 8,1–8,2, тогда как содержание кислорода снизилось с 7,5–7,7 до 7,4–7,5 мг/л. Содержание хлорофилла достигло максимума в фев-

рале (13,2–13,5 мг/м<sup>3</sup>), после чего снизилось до 11,5–11,8 мг/м<sup>3</sup> в марте. На станции Форос наблюдались более высокие значения температуры, солености, рН и хлорофилла, но менее низкое содержание кислорода при сравнении со станцией Альбатрос. В целом, данные за первые три месяца года на станциях Альбатрос и Форос свидетельствуют о стабильных экологических условиях с небольшими колебаниями температуры, солености, рН, содержания кислорода и хлорофилла в воде. При наблюдении на длительном отрезке времени стало заметным, что в зимний сезон, с понижением температуры, содержание хлорофилла увеличивается, а весной, при повышении температуры – уменьшается (рис. 6, приложение 3). Коэффициенты линейной корреляции (*R*) между содержанием хлорофилла *a* и температурой воды в море за год составили –0,70 (*p* < 0,01) и –0,61 (*p* < 0,05) для станций Альбатрос и Форос, соответственно. Возможная причина заключается в том, что в холодной воде содержится больше питательных веществ, а это способствует росту фитопланктона.



Табл. 1

**Часто встречающиеся в зимний сезон организмы**

Станция	Число морфотипов	Найденные виды
Альбатрос	9	<i>Ceratium furca</i> , <i>Licmofora gracilis</i> , <i>Proteperidium steinii</i> , <i>Thalassionema costatum</i>
РБК	10	<i>Chaetoceros curvisetus</i> , <i>Skeletonema costatum</i> , <i>Th. costatum</i> , колония ликмофоры
Форос	19	<i>Ceratium tripos</i> , <i>Coscinodiscus gigas</i> , <i>Dictiocha speculum</i> , <i>L. gracilis</i> , <i>P. steinii</i>

Табл. 2

**Спутниковые данные, полученные для станций Альбатрос и Форос за 3 месяца 2023 года**

Станция	Месяц	Температура (°C)	Соленость (‰)	pH	Содержание кислорода (мг/л)	Содержание хлорофилла (мг/м³)
Альбатрос	Январь	8,3	18,3	8,0	7,7	12,1
	Февраль	7,9	18,1	7,9	7,8	13,2
	Март	9,0	18,7	8,1	7,5	11,5
Форос	Январь	8,5	18,5	8,1	7,5	12,3
	Февраль	7,8	18,2	8,0	7,6	13,5
	Март	9,2	18,8	8,2	7,4	11,8

Среди остальных спутниковых показателей некоторые также коррелировали между собой и показывали выраженные временные тренды за период наблюдения (приложение 4). Так, соленость в обоих регионах оставалась стабильной с небольшими колебаниями на протяжении года: на ст. Альбатрос – от 18,36 до 19,11‰, в Форосе – от 18,23 до 18,95‰. Эти данные подчеркивают сходство гидрологических условий и влияние аналогичных климатических факторов. Уровень pH в водах обеих станций оставался относительно стабильным в пределах 8,2–8,4: на ст. Альбатрос значения pH варьировались от 8,20 до 8,46, а в Форосе – от 8,22 до 8,44. Эти показатели свидетельствуют о том, что кислотно-щелочные условия находятся в приемлемых пределах для обеих водных экосистем. Заметные различия между станциями Альбатрос и Форос не отмечены. Наблюдения свидетельствуют о здоровых условиях для существования водных организмов на обеих удаленных друг от друга станциях (приложение 3).

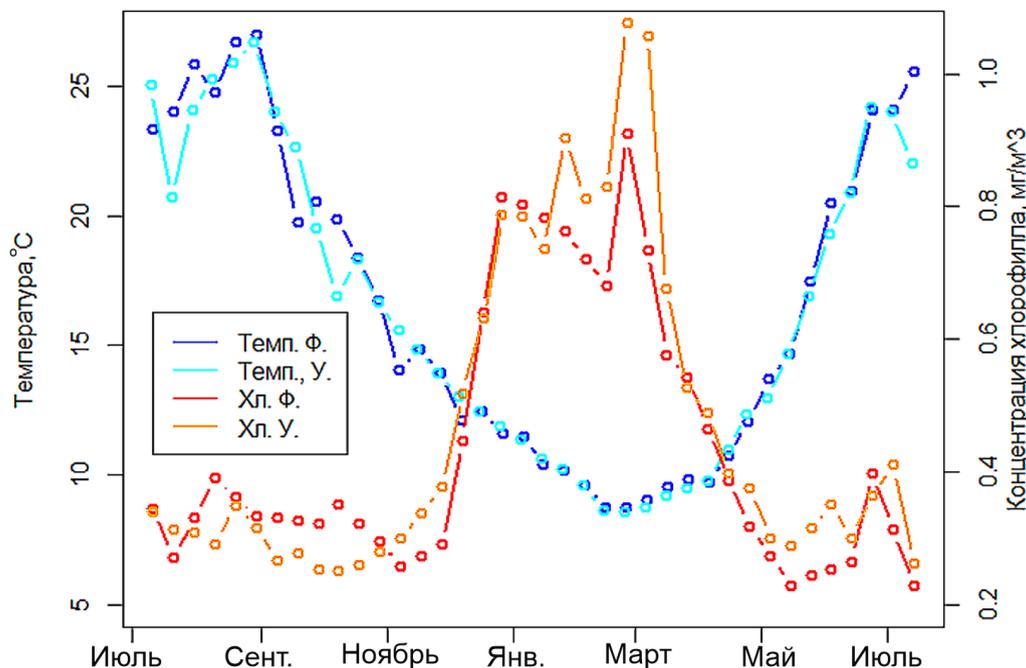
**Сезонные изменения планктона на станциях Альбатрос и Форос**

В ходе исследования планктона на станциях Альбатрос и Форос были проведены наблюдения с подсчетом числа морфотипов во фракциях от 84 мкм до 2 мм. Данные были сгруппированы по сезонам: зима, весна, лето и осень (рис. 7). Весной на станции Форос было обнаружено максимальное количество морфотипов (36), что указывает на активное цветение и разнообразие планктона. На ст. Альбатрос весной также наблюдается увеличение числа морфотипов (27).

В летний период на обеих станциях выявлено небольшое снижение числа морфотипов при сравнении с весной: на ст. Альбатрос – 22, в Форосе – 24. Минимальное количество морфотипов на обеих станциях отмечено осенью: 13 на ст. Альбатрос и 14 в Форосе. Это может свидетельствовать о понижении биологической активности в данное время года. Наиболее яркими представителями планктонного сообщества на обеих станциях являлись микроводоросли *Ceratium tripos*, *Ceratium furca* и *Coscinodiscus gigas*.

**Суточные изменения планктона на станции Ласпи**

В ходе исследования планктона на станции Ласпи были проведены наблюдения с подсчетом числа морфотипов во фракциях от 84 мкм до 2 мм в течение суток. Были обнаружены заметные колебания числа морфотипов в каждой планктонной фракции (рис. 8). Например, фракция № 1 изменялась от 4 до 8 морфотипов с пиковым значением до 8 морфотипов в 20:00. Фракция № 2 изменялась от 5 до 9 морфотипов, достигая максимума до 9 морфотипов в 23:00. Фракция № 3 демонстрировала наибольшее разнообразие – от 0 до (в 17:00) 9 морфотипов. Минимальное значение (0) зафиксировано в 23:00. Фракция № 4 продемонстрировала самое высокое значение (12 морфотипов) в 17:00, при этом минимальное значение составило 3 морфотипа в 06:00 и 23:00. Суточные колебания численности морфотипов планктона могут быть связаны не только с изменением освещенности, но и с такими условиями в море, как ветер и волны. Днем, когда ветер усиливается и образуются волны, части-



**Рис. 6.** Годовые изменения концентрации хлорофилла и температуры воды на станциях Альбатрос (Учкуевка) и Форо́с (ЮБК)

цы поднимаются со дна и становятся доступными для обнаружения, в то время как ночью они оседают на дно. Особенностью бухты Ласпи в летний период можно считать обилие веслоногих рачков, а также микроводорослей *Coscinodiscus gigas*, *Ceratium furca* и *Nitzschia longissima*.

#### **Вариации планктона внутри спутникового пикселя размером 3 км**

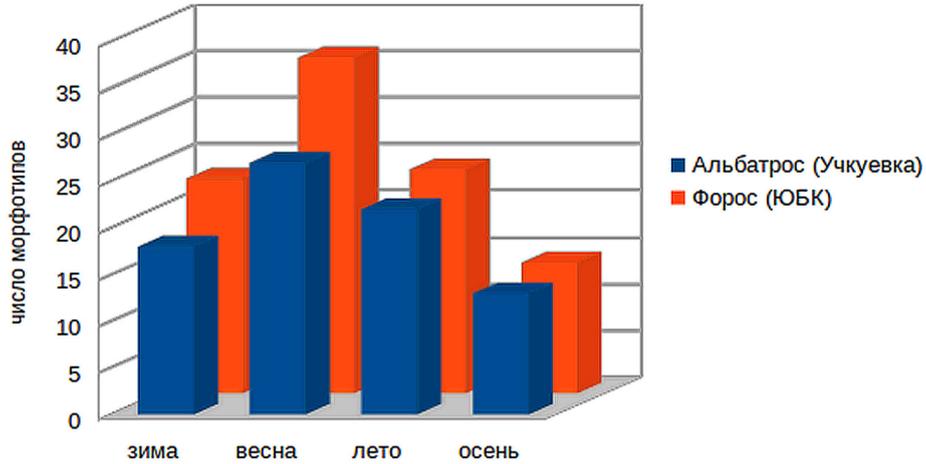
Исследование планктонных сообществ на близко расположенных станциях Альбатрос и Толстяк, расстояние между которыми соответствует размеру спутникового пикселя 3 км, проводили 20 февраля 2023 года. Периоды забора проб различались на 2 ч: на ст. Толстяк пробы брали с 11 до 12 ч, а на ст. Альбатрос – с 14 до 15 ч при общем волнении моря 3–4 балла. На ст. Толстяк температура воды была 9 °С, рН – 7,21, соленость – 7850 ppm, а на станции Альбатрос температура воды – 9 °С, рН – 7,20, соленость – 7450 ppm. Оказалось, что биоразнообразие микропланктона уменьшается с 14 до 10 морфотипов от ст. Альбатрос до ст. Толстяк, причем 9 морфотипов были характерны для обеих станций (рис. 9а). Распределения морфотипов по размерным фракциям также незначительно различались (рис. 9б). Кроме того, распределение морфотипов по размерным фракциям несколько отличалось от классической пирамиды Элтона и напоминало каскады, возможно, вследствие волнения на море. На обеих станциях обнаружена диатомовая водоросль *Coscinodiscus gigas*.

#### **Полевые исследования и спутниковые наблюдения в заливе Мегало-Яло**

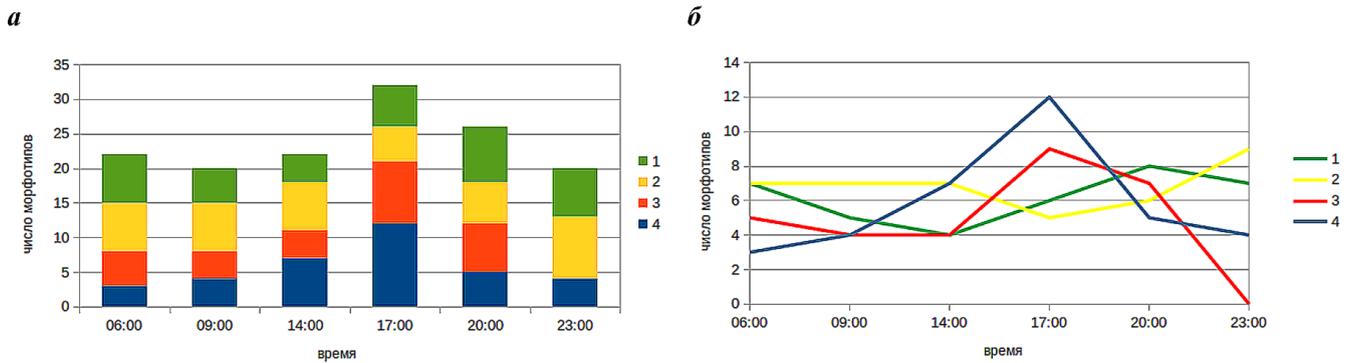
Полевые исследования в заливе Мегало-Яло проводили в точке с координатами 44.479N и 33.628E после полудня 3 августа 2023 года. Число морфотипов планктонных организмов в конце лета здесь было невелико и составило 17 единиц. Распределение морфотипов по фракциям формировало типичную пирамиду Элтона с узкой вершиной для крупных планктонных организмов и широким основанием для мелких организмов (рис. 10).

Спутниковые данные предоставили крупномасштабную информацию о концентрации хлорофилла *a*, а также о содержании планктона и динамике его изменения в заливе Мегало-Яло 3 августа 2023 года в 7 часов утра и 23 часов ночи (табл. 3). Сравнение содержания хлорофилла *a* по бинам между соответствующими участками сканирования в 7:00 и 23:00 выявило положительную корреляцию ( $R = 0,78$ ) между соседними по времени сеансами связи, что указывает на надежность спутникового мониторинга для изучения морских экосистем. Тем не менее, полученные данные свидетельствуют об отсутствии однородности в распределении планктона и указывают на наличие вариаций во времени и в пространстве.

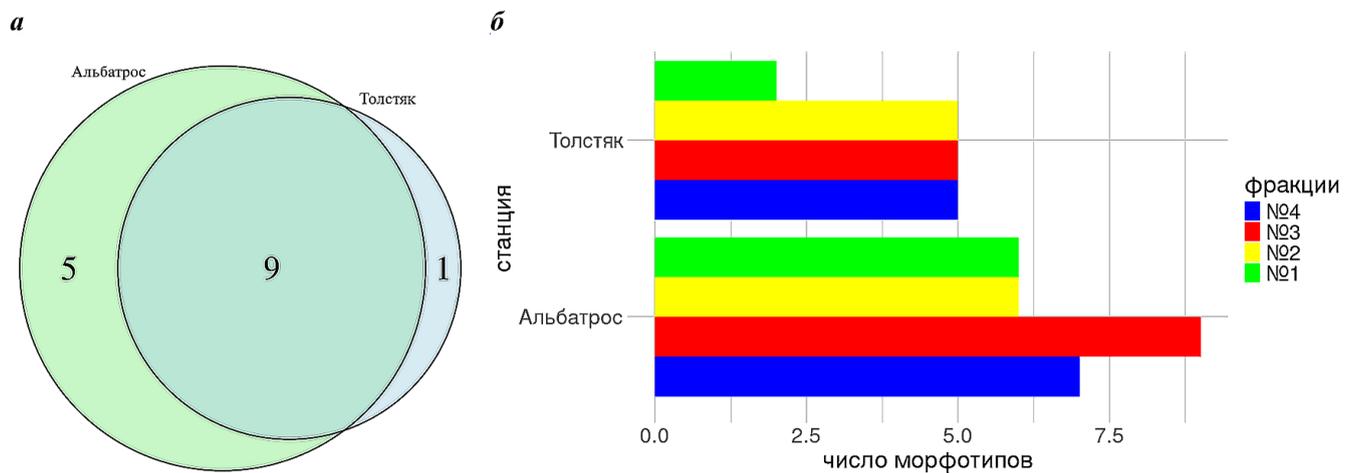
Данные спутникового мониторинга демонстрируют выраженную вариативность во времени в распределении хлорофилла *a* по квадрантам залива. В дневное время (7:00) максимальная концентрация (22 УЕ) зафиксирована в участке 0,703–0,729, тогда как в сосед-



**Рис. 7.** Распределение планктонных организмов по сезонам года на станциях Альбатрос и Форос. Представлены суммарные численности морфотипов из фракций № 1–3 от 84 мкм до 2 мм сепаратора Viber-2



**Рис. 8.** Суточная динамика планктона на станции Ласпи: а) изменение спектра планктонных фракций в течение суток; б) суточные изменения в отдельных фракциях планктона: размерная фракция № 1 – 300–2000 мкм, № 2 – 150–300, № 3 – 84–150 и № 4 – 5–84 мкм



**Рис. 9.** Вариации планктона на близко расположенных станциях Альбатрос и Толстяк: а) диаграмма Венна; б) фракционный состав планктона на станциях: размерная фракция № 1 – 300–2000 мкм, № 2 – 150–300, № 3 – 84–50 и № 4 – 5–84 мкм

нем участке (0,729–0,754) значение составляло только 6 УЕ. Ночью (23:00) картина изменилась: второй пик появился в квадранте 0,779–0,805 (18 УЕ), при этом в ранее продуктивном участке 0,703–0,729 концентрация снизилась на 18%. Отмечены устойчивые зоны с нулевыми значениями (0,804–0,830 и 0,906–0,932 в оба времени наблюдений), чередующиеся с участками повышенной биомассы (14–18 УЕ). Такая мозаичность распределения, особенно контрастная в смежных бинах, свидетельствует о влиянии мелкомасштабных процессов на структуру фитопланктонного сообщества. Динамика суточных изменений (например, рост в 0,779–0,805 при снижении в 0,754–0,779) дополнительно подчеркивает пространственную разобщенность экосистемных процессов в пределах залива.

Для расчета фрактальности распределения планктона по табл. 2 применили метод «подсчета областей» [69]. Фрактальная размерность, рассчитанная для 7:00, составила 0,603, в то время как для 23:00 она снизилась до 0,385. Полученные результаты указывают на значительные изменения в структурной организации планктонной экосистемы в течение суток. Более высокое значение фрактальной размерности в утренние часы свидетельствует о более разнообразном и структурированном распределении планктона, тогда как низкое значение ночью указывает на упрощение распределения и снижение биологической активности (приложение 5).

В смежных бинах отмечена пространственная неоднородность для абсолютной концентрации фитопланктона и скорости изменения его концентрации. В глобальных масштабах за пределами залива эта тенденция к пространственно-временным флуктуациям сохранялась, хотя не выглядела столь драматично. На

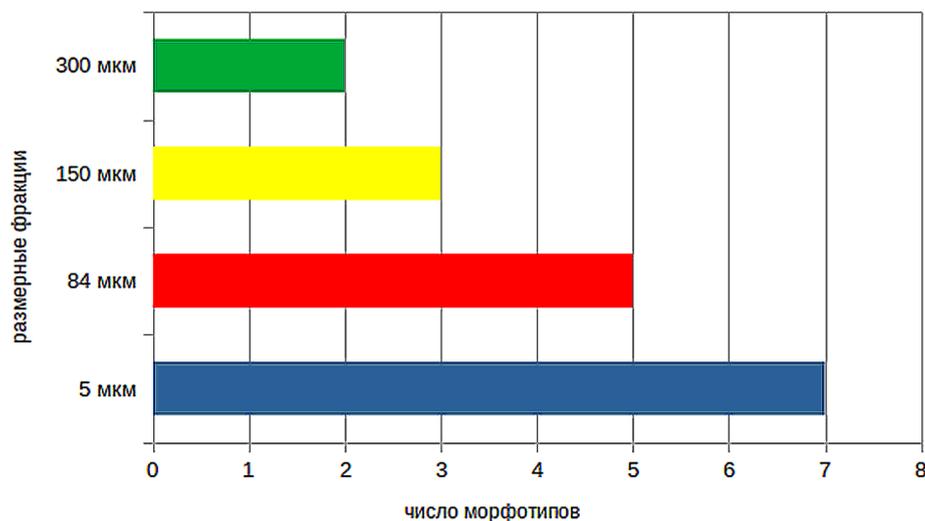
большем масштабе заметны отдельные волны концентрации хлорофилла *a*, фитопланктона и скорости его изменения (рис. 11).

#### **Глобальные спутниковые наблюдения за акваторией Черного моря**

Наблюдение со спутников за акваторией Черного моря выявило неравномерное распределение хлорофилла по его поверхности в глобальном масштабе. Особенно выделяется его северо-западная часть, богатая хлорофиллом, которая подвержена эвтрофикации из-за стоков рек Дунай, Днепр и Днестр. Также просматриваются конвекционные потоки хлорофилла, повторяющие Основное Черноморское Течение (очки Книповича), видны вторичные завихрения (рис. 12, приложение 6). Выявляются мезомасштабные особенности распределения хлорофилла *a*, связанные с динамикой водных масс. В глубоководной части моря наблюдается выраженное уменьшение содержания хлорофилла *a* по сравнению с шельфовыми районами. Особый интерес представляют вихревые структуры, в которых отмечается пониженная биопродуктивность.

#### **Возможные автоволновые процессы в сообществе морского планктона**

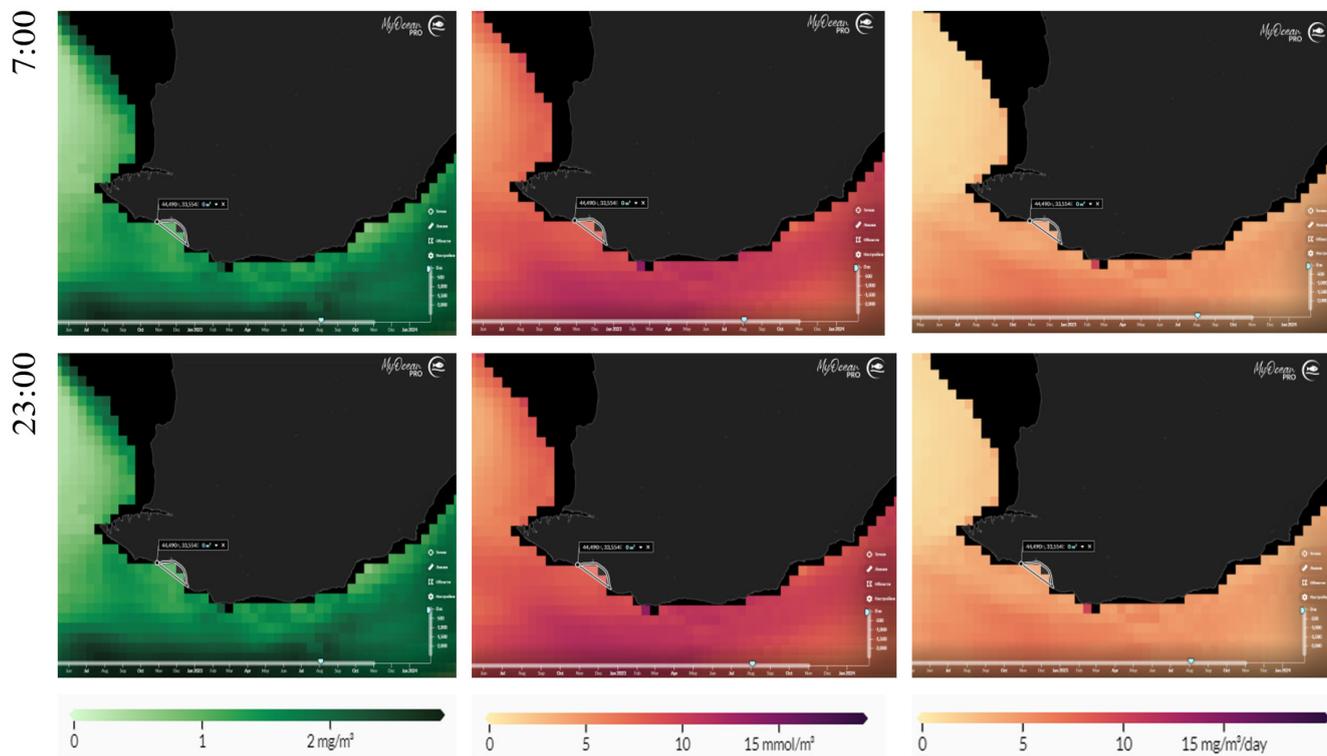
Моделирование автоволновых процессов в сообществе планктонных организмов с помощью программы *planctonBCR.py* показало, что нелинейные взаимодействия между видами могут привести к распространению пространственных волн изменений в численности особей. Визуализация способствует пониманию динамики сообщества планктона и сути механизмов, порождающих такое поведение. Результаты модели-



**Рис. 10.** Распределение морфотипов планктонных организмов из залива Мегало-Яло по размерным фракциям

Профили распределения планктона по бинам в заливе Мегало-Яло  
(спутниковая система мониторинга Sentinel-3)

Время 7:00			Время 23:00		
bin <sub>min</sub>	bin <sub>max</sub>	хлорофилл <i>a</i> , УЕ	bin <sub>min</sub>	bin <sub>max</sub>	хлорофилл <i>a</i> , УЕ
0,70327152	0,72866634	22	0,70327152	0,72866634	18
0,72866634	0,75406115	6	0,72866634	0,75406115	0
0,75406115	0,77945597	7	0,75406115	0,77945597	3
0,77945597	0,80485078	8	0,77945597	0,80485078	18
0,80485078	0,83024559	0	0,80485078	0,83024559	0
0,83024559	0,85564041	14	0,83024559	0,85564041	14
0,85564041	0,88103522	1	0,85564041	0,88103522	6
0,88103522	0,90643003	5	0,88103522	0,90643003	8
0,90643003	0,93182485	0	0,90643003	0,93182485	0
0,93182485	0,95721966	2	0,93182485	0,95721966	2



**Рис. 11.** Карты распределения планктона в окрестностях точки сбора в заливе Мегало-Яло. Залив отмечен светлым круговым сегментом, массовая концентрация хлорофилла *a* в морской воде ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ), молярная концентрация фитопланктона (*C*) выражена в виде содержания углерода в морской воде ( $\text{ммоль}/\text{м}^3$ ), чистая первичная продукция биомассы, выраженная в виде содержания углерода на единицу объема морской воды в день ( $\text{мг}/\text{м}^3/\text{день}$ ), соответствует скорости изменения содержания углерода –  $dC/dt$ . По данным спутниковой системы Sentinel-3

рования подтверждают возможность возникновения автоволновых процессов у морского планктона (рис. 13, приложение. 7).

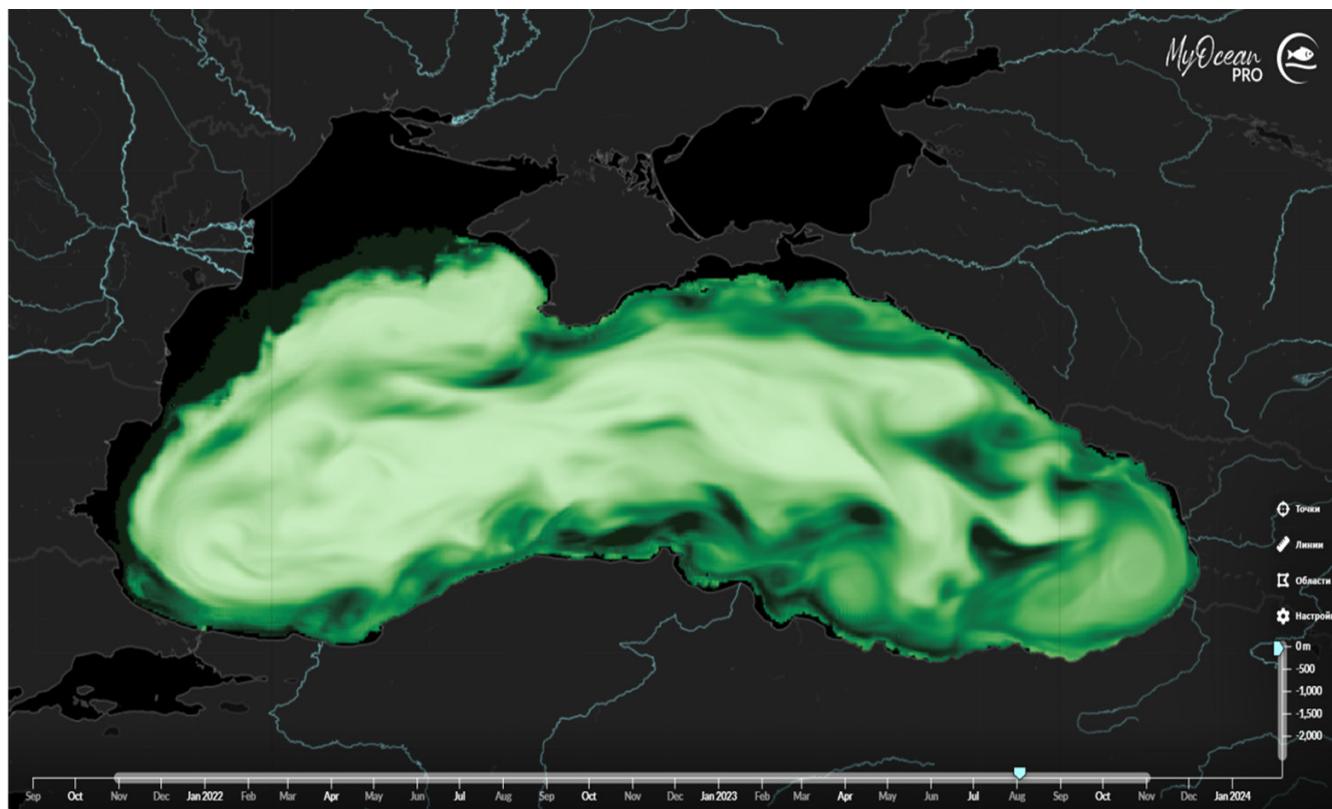
Моделирование динамики с использованием реакционно-диффузионного подхода выявило развитие выраженных пространственных неоднородностей из первоначально почти однородного распределения (рис. 13). На начальном этапе (0 сек, рис. 13а) система демонстрировала практически равномерное распределение всех трех компонентов с незначительными флуктуациями концентраций. В течение первых 30 секунд моделирования (рис. 13б) сформировались первичные кластеры, где концентрация доминирующего вида А повышалась, тогда как в межкластерных зонах снижалась. К 60 секундам (рис. 13в) наблюдалось образование устойчивых волновых структур, увеличение контраста между максимумами и минимумами, появление вторичных спиральных волн. На завершающей стадии (90–180 сек, рис. 13г-е) система достигла квазистационарного состояния. Полученные пространственно-временные паттерны демонстрируют типичные признаки автоволнового процесса, включая спонтанное нарушение симметрии и наличие порогового значения концентрации для инициации волн. Наблюдаемая динамика качественно напо-

минает распределение фитопланктона в фронтальных зонах (рис. 12), что подтверждает приемлемость использованных параметров взаимодействия ( $\alpha = 0,1$ ,  $\beta = 0,1$ ,  $\gamma = 0,1$ ) для моделирования реальных экологических процессов.

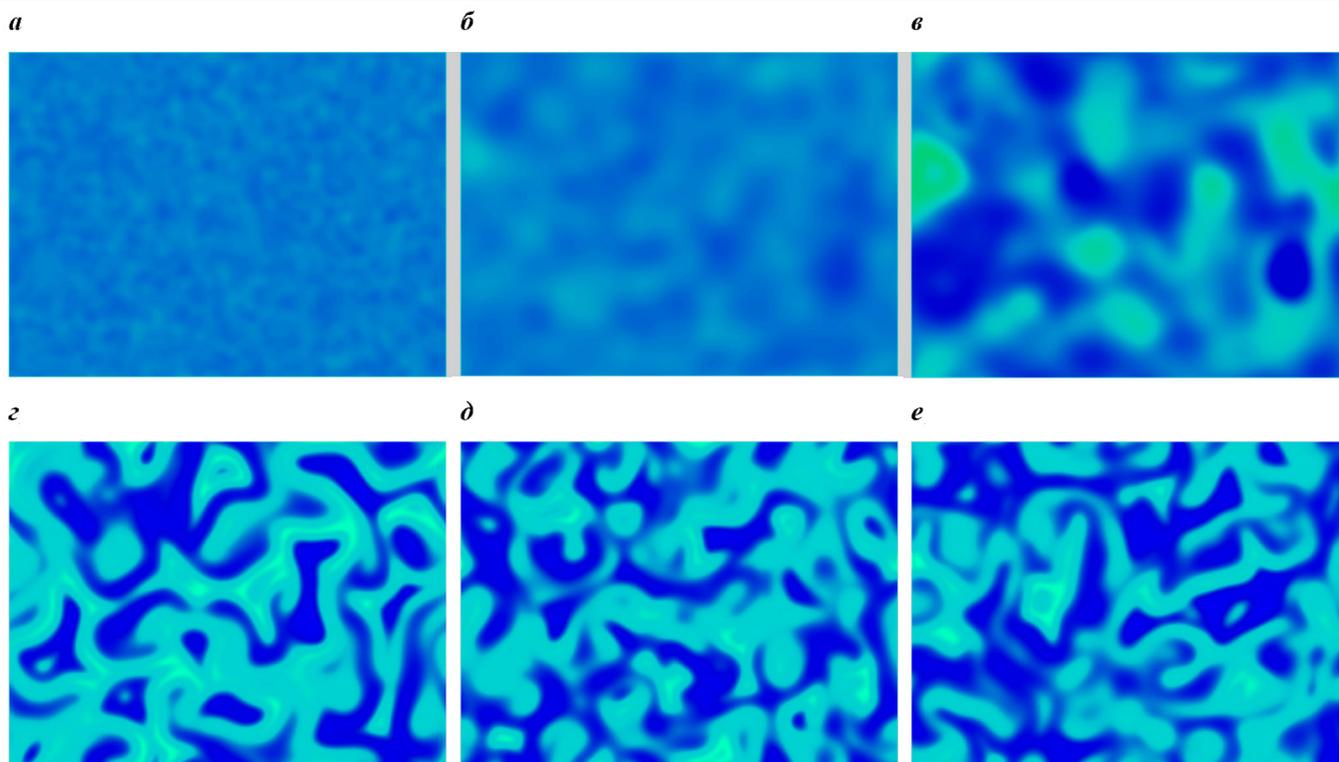
## Обсуждение

### Взаимосвязи в планктонном сообществе

В исследовании на станциях Гераклеийского полуострова мы наблюдали множество видов организмов, взаимодействующих между собой в контексте питания, размножения и конкуренции. На станции РБК учтено более 63 видов планктонных организмов, в том числе веслоногие рачки (копеподы отрядов Calanoida и Cyclopoida), динофитовые и диатомовые водоросли, а также панцирные жгутиконосцы (рис. 5, приложение 2), что согласуется с более ранними исследованиями [33]. Каждый из этих видов играет определенную роль в пищевой сети планктонного сообщества. Например, диатомовые водоросли, такие как *Licmophora ehrenbergii*, *Licmophora flabellata* и *Licmophora gracilis*, образуют колонии, что может указывать на их способность к кооперации. С другой стороны, динофитовые водоросли, такие как *Ceratium tripos* и *Ceratium furca*, могут быть



**Рис. 12.** Карта распределения фитопланктона в Черном море. Представлена пространственная динамика распределения хлорофилла а 3 августа 2023 года в 7:00 по данным дистанционного зондирования Земли спутниками Sentinel-3



**Рис. 13.** Автоволновые процессы в сообществе морского планктона. Длительность имитационного моделирования: а) 0 сек; б) 30 сек; в) 60 сек; г) 90 сек; д) 120 сек; е) 180 сек

как фотосинтезирующими, так и гетеротрофными, что позволяет им адаптироваться к различным экологическим нишам [19]. В то же время диатомовые водоросли служат основным источником питания для веслоногих ракообразных [5, 6]. Такие взаимодействия между видами, помимо экологического контекста, могут представлять собой сложные динамические процессы, которые требуют тщательного анализа и являются ключевыми для поддержания стабильности и биоразнообразия планктонного сообщества. Интересно, что эти взаимодействия демонстрируют фрактальные свойства: конкурентные и кооперативные связи на уровне отдельных клеток повторяются в структуре целых планктонных сообществ [70]. Это позволяет рассматривать планктонную экосистему как иерархическую фрактальную сеть, где локальные процессы влияют на глобальную динамику [44].

При изучении разных размерных фракций планктона мы отметили, что на крупных ситах (300 и 150 мкм) присутствуют различные виды копепод и их личинки, в то время как на мелких ситах (84 и 5 мкм) преобладают динофитовые и диатомовые водоросли. Это указывает на наличие трофических уровней, где разные группы организмов вступают в конкуренцию за ресурсы. В частности, динофлагелляты, такие как *Dinophysis caudata*, могут действовать как хищники и влиять на численность их жертв, тем самым поддерживая баланс в сообществе.

Результаты, полученные на различных станциях, показывают, что сложные экосистемные структуры сохраняются в условиях изменчивости факторов окружающей среды, таких как температура и содержание питательных веществ. Замечено, что с увеличением биомассы и разнообразия видов появляются определенные закономерности в отношении топологии и структуры сообществ, что указывает на наличие устойчивых отношений между различными группами организмов [3, 6]. Увеличение биоразнообразия от ст. Альбатрос к ст. Форос может свидетельствовать о том, что более сложные условия ландшафта создают больше возможностей для различных ниш, что позволяет различным морфотипам и видам находить свою роль в экосистеме.

Взаимодействия между видами могут быть как конкурентными, так и кооперативными [4, 71, 72]. Например, в условиях растущего числа фитопланктонных видов наблюдается состязание за свет и питательные вещества, что в свою очередь может влиять на динамику популяций. То, что в одном и том же образце находились как фотосинтетические, так и хищные организмы, подтверждает наличие сложных отношений, где фитопланктон и зоопланктон создают конкурентную активную среду, что влияет на их процветание и адаптацию. Нельзя не отметить, что сложность отношений в планктонном сообществе создает богатую и динамичную картину взаимодействий. Понимание

этих отношений имеет важное значение не только для экологии планктона, но и для оценки устойчивости морских экосистем [73–75].

### ***Разброс измеряемых величин на разных масштабах во времени и в пространстве***

Исследование показало, что биоразнообразие микропланктона увеличивается с усложнением рельефа местности, что согласуется с ранними наблюдениями [47]. Это может быть связано с тем, что более сложный ландшафт создает больше ниш для различных видов, что способствует их разнообразию [5, 44, 71, 76, 77]. Спутниковые данные подтвердили обратные зависимости между температурой воды и содержанием хлорофилла [78]. Данное обстоятельство может быть объяснено тем, что в холодной воде сохраняется больше питательных веществ, что способствует росту фитопланктона [21, 79]. Изучение вариаций в пространстве и времени показало высокую изменчивость микропланктона на небольших пространственных масштабах и в короткие интервалы времени, что подчеркивает важность учета этих факторов в экологических исследованиях [17, 46]. Эта изменчивость может быть проявлением фрактальной организации планктонных сообществ, где локальные флуктуации повторяют паттерны, наблюдаемые на региональном уровне [80]. Подобные масштабно-инвариантные закономерности ранее описывались для океанических экосистем [70, 81, 82] и могут служить индикатором устойчивости системы [83].

Анализ пространственного распределения хлорофилла-а в заливе Мегало-Яло выявил вариабельность между соседними квадрантами, как в дневное (7:00), так и в ночное время (23:00). Наблюдались резкие перепады концентраций – от 0 до 22 УЕ в пределах смежных бинов (например, 0 УЕ в 0,804–0,830 против 8 УЕ в 0,779–0,805 в 7:00), при этом динамика изменений не была синхронной: в некоторых квадрантах отмечался рост концентрации к ночи (с 8 до 18 УЕ в 0,779–0,805), тогда как в других – снижение (с 7 до 3 УЕ в 0,754–0,779). Устойчиво низкие значения (0 УЕ) в отдельных бинах (0,804–0,830, 0,906–0,932) сохранялись в течение суток, что может указывать на возможное влияние локальных гидродинамических особенностей, таких как мезомасштабные вихри или фронтальные зоны, на распределение фитопланктона, либо на внутренние причины в виде автоволн [41, 72, 84]. С одной стороны, полученные данные свидетельствуют о пространственной корреляции ( $R = 0,78$ ) в содержании хлорофилла-А между квадрантами залива. С другой стороны, наблюдения демонстрируют неоднородность распределения фитопланктона на мелкомасштабном уровне, что важно для понимания экосистемных процессов в морских средах [1, 6, 81, 85].

### ***Причины стохастического поведения системы морского планктона***

Сложность взаимодействий в планктонных сообществах и ее влияние на их динамику хорошо известны [58, 86]. Стохастическое поведение системы морского планктона может быть вызвано множеством факторов, включая изменения в физических условиях (температура, соленость, освещенность), химических условиях (содержание питательных веществ) и биологических взаимодействиях (хищник-жертва, конкуренция). Взаимодействие между отдельными организмами внутри сообщества планктона (кооперация и т. д.) также может быть причиной вариаций [19, 46]. Эти факторы могут накладываться друг на друга, создавая в сообществе планктонных организмов сложные динамические паттерны.

Считается, что для описания простейших взаимодействий хищник-жертва в сообществе планктона может быть использована модель Лотки-Вольтерра [87, 88]. В этой модели численность жертвы растет экспоненциально в отсутствие хищников, а численность хищников зависит от численности жертв. Однако в реальных экосистемах взаимодействия могут быть гораздо более интригующими. Ранее проведенные исследования подтверждают сложность взаимодействий в экологическом сообществе, указывая на необходимость использовать более детализированные модели для их описания [4, 46]. Фрактальные модели, в отличие от классических уравнений Лотки-Вольтерра, позволяют учесть многомасштабность взаимодействий: например, хищничество copepod может влиять на фитопланктон не только на локальном уровне, но и через каскадные эффекты, распространяющиеся по фрактальной сети трофических связей [72, 82, 89, 90–92].

Для представления сложных взаимодействий в сообществе планктона можно использовать реакцию Белоусова-Жаботинского [93, 94]. Эта реакция демонстрирует неординарную динамику и автоволновые процессы в сложных химических системах. Подобные процессы, предположительно, могут происходить и в сообществе планктона [66]. В адаптированной модели Белоусова-Жаботинского взаимодействия между видами приводят к автоволновым процессам, когда изменения в численности одного вида вызывают нелинейные изменения в численности других видов и приводят к распространению волн изменений численности видов (рис. 13). Ранее проведенные исследования также указывали на возможность возникновения автоволновых процессов в экосистемах [72, 95], что подтверждает актуальность нашего исследования. Такие процессы могут быть важны для понимания динамики сообщества планктона и его адаптации к изменяющимся условиям среды.

### *Имеют ли флуктуации планктона, обнаруживаемые на разных пространственных и временных масштабах, фрактальную природу?*

Фрактальная природа подразумевает наличие самоподобия и масштабной инвариантности в данных [71, 96]. В экологии фракталы применяются для описания структуры фитопланктонных полей, динамики популяций и архитектуры пищевых сетей [81, 82, 91]. В контексте флуктуаций планктона это означает, что паттерны изменчивости на малых масштабах должны повторяться на более крупных масштабах [70, 82, 89]. Анализ данных, полученных в ходе нашего исследования, позволяет предположить, что пространственно-временная изменчивость планктона действительно может обладать фрактальными свойствами. Это подтверждается несколькими ключевыми наблюдениями.

*Масштабная инвариантность.* Флуктуации численности и биоразнообразия планктона демонстрируют сходные паттерны на разных уровнях разрешения: от суточных изменений в отдельной бухте (станция Ласпи, рис. 8б) до сезонных и межгодовых вариаций в масштабах всего Черного моря. Например, резкие перепады концентрации хлорофилла в заливе Мегало-Яло (от 0 до 22 УЕ в соседних бинах) напоминают мозаичность распределения фитопланктона в мезомасштабных вихрях, наблюдаемых на спутниковых снимках (рис. 12).

*Автоволновые процессы.* Результаты моделирования показали, что даже при однородных начальных условиях в системе спонтанно возникают сложные пространственные паттерны, включая спиральные волны и кластеры (рис. 13). Подобные структуры, наблюдаемые в реакционно-диффузионных системах, часто описываются фрактальной геометрией [72].

*Эмпирические свидетельства.* Корреляционный анализ спутниковых данных ( $R = 0,78$  для одних и тех же бинов в заливе Мегало-Яло) указывает на наличие зависимостей с памятью, что характерно для фрактальных временных рядов [71, 80]. Кроме того, чередование зон высокой и низкой продуктивности (табл. 3) соответствует мультифрактальной картине, описанной в других гидробиологических исследованиях [46, 95].

Получается, что, с одной стороны, данные исследования показывают высокую изменчивость планктонного сообщества на небольших пространственных масштабах и в коротких интервалах времени, что может указывать на наличие автоволновых свойств. Например, вариабельность микропланктона на границах района отдельного спутникового пикселя и суточные колебания на станции Ласпи демонстрируют сложные динамические паттерны, которые могут быть результатом активного процесса. С другой стороны, спутниковые данные о распределении хлорофилла *a* в заливе Мегало-Яло и Черном море в целом показывают

наличие фрактальных и мезомасштабных структур и вихревых образований, что может свидетельствовать о том, что флуктуации планктона обладают комбинированными свойствами, включающими как фрактальные, так и упорядоченные элементы.

Таким образом, наши результаты согласуются с гипотезой о фрактальной организации планктонных сообществ [82]. Эта гипотеза предполагает, что структура и динамика планктонных сообществ могут быть описаны с использованием фрактальной геометрии, что указывает на наличие масштабной инвариантности и самоподобия в их распределении [70, 96]. Такое представление позволит изучать сложные и нелинейные экосистемные процессы на основе учета элементарных взаимодействий компонентов системы [90, 97]. Для верификации этой гипотезы требуются увеличение разрешающей способности спутников<sup>4</sup>, расчет фрактальной размерности пространственных распределений [83], анализ масштабных закономерностей во временных рядах [97], моделирование с включением стохастических факторов для проверки устойчивости автоволновых режимов [90]. В случае более точного определения фрактальной природы флуктуаций планктона могут быть полезными дополнительные исследования, включая анализ спектров мощности и применение методов фрактальной геометрии к данным о распределении планктона на разных масштабах. Перспективным направлением является сочетание фрактального анализа с методами машинного обучения: например, алгоритмы, основанные на мультифрактальной обработке спутниковых данных [80], могут повысить точность прогнозирования «цветений» планктона.

### **Заключение**

Показано, что ранее казавшаяся парадоксальной неоднородность планктона [98] определяется сложностью отношений в планктонном сообществе, обусловленной нелинейными взаимодействиями между видами. Обнаружены обратные зависимости между температурой и содержанием хлорофилла. Выявлено увеличение биоразнообразия от Учкюевки к Форосу, что связано с особенностями ландшафта. Экспериментальные наблюдения, моделирование и данные литературы подтверждают, что сложные взаимодействия могут приводить к автоволновым процессам и фрактальной структуре сообщества. Дальнейшие исследования могут быть направлены на более детальное изучение этих процессов и их влияния на устойчивость экосистемы морей и океанов. Результаты моделирования согласуются с данными спутникового мониторинга, что подтверждает надежность используемой методологии исследования. Особенностью реализации

<sup>4</sup> Copernicus Marine Service. Available at: <https://marine.copernicus.eu/>.

модели является комбинация дискретного подхода для пространственных взаимодействий и непрерывных уравнений для динамики популяций. Компьютерное моделирование позволит в будущем помимо формирования пространственных паттернов исследовать условия устойчивого сосуществования видов, эффекты параметрических возмущений и динамику конкурентного исключения. Полученные результаты подтверждают важность микропланктона в экосистеме морей и океанов. Если гипотеза фрактальных вариаций планктонных организмов верна, она сможет объяснить высокую адаптивность планктона к изменениям среды через механизмы масштабно-инвариантной самоорганизации. Как показали исследования [44, 70], фрактальная структура экосистем обеспечивает их устойчивость за счет масштабной инвариантности: процессы, действующие на микроуровне (например, кооперация диатомей), оказываются эффективными и на макроуровне (взаимодействие фито- и зоопланктона). Дальнейшие исследования смогут не только подтвердить гипотезу о фрактальной организации планктона, но и расширить наши представления о роли этих процессов в устойчивости морских экосистем.

***Благодарности.** Авторы признательны за помощь коллегам. Это Баздырев Д.А., Подкидышева Ю.К., Рожественская И.А., Курченко В.М., Хавронюк И.С., Та-*

*ран Н.А., Гунькова А.К., Железнова С.Н., Лишаев Д.Н., Губанов В.И., Попов М.А., Поспелова Н.В., Скороход Е.Ю., Стельмах Л.В., Рябушко Л.И.*

*Исследование выполнялось в рамках реализации Всероссийской программы «Сириус. Лето».*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

#### **ПРИЛОЖЕНИЯ (ДОСТУПНЫ НА САЙТЕ ЖУРНАЛА КАК ВЛОЖЕНИЕ К ФАЙЛУ PDF)**

**Пр. 1. Листинг программы planctonBCR.py**

**Пр. 2. Список микроводорослей, идентифицированных на станции РБК**

**Пр. 3. Данные спутниковой группировки Sentinel-3 по станциям Альбатрос и Форос за 2022–2023 годы**

**Пр. 4. Значения коэффициента корреляции Пирсона по данным спутников Sentinel-3, собранных со станций Альбатрос и Форос за 2022–2023 годы**

**Пр. 5. Логарифмические регрессии фрактальности хлорофилла *a* в заливе Мегало-Яло**

**Пр. 6. Видео масштабных изменений концентрации хлорофилла *a* в Черном море за 12 месяцев 2022–2023 годов по данным спутниковой системы мониторинга Sentinel-3**

**Пр. 7. Видео автоволнового процесса в планктонном сообществе**

#### **Литература**

- Hutchinson GE. The paradox of the plankton. *Am Nat.* 1961;95(882):137-45.
- Беклемишев КВ. Экология и биогеография пелагиали. М.; 1969.
- Cloern JE. Phytoplankton bloom dynamics in coastal ecosystems: A review with some general lessons from sustained investigation of San Francisco Bay, California. *Rev Geophys.* 1996;34(2):127-68.
- Ward BA, Dutkiewicz S, Follows MJ. Modelling spatial and temporal patterns in size-structured marine plankton communities: top-down and bottom-up controls. *J Plankton Res.* 2014;36(1):31-47.
- Виноградов МЕ. Вертикальное распределение океанического зоопланктона. М.; 1968.
- Margalef R. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanol Acta.* 1978;1(4):493-509.
- Falkowski P, Scholes RJ, Boyle E et al. The global carbon cycle: A test of our knowledge of earth as a system. *Science.* 2000;290(5490):291-6.
- Sarmiento JL, Slater R, Barber R, Bopp L, Doney SC, Hirst AC, Kleypas J, Matear R, Mikolajewicz U, Monfray P, Soldatov V, Spall SA, Stouffer R. Response of ocean ecosystems to climate warming. *Glob Biogeochem Cycles.* 2004;18(3):GB3003.
- McClain CR. A decade of satellite ocean color observations. *Annu Rev Mar Sci.* 2009;1:19-42.
- Werdell PJ, Behrenfeld MJ, Bontempi PS et al. The Plankton, Aerosol, Cloud, ocean Ecosystem mission: Status, science, advances. *Bull Am Meteorol Soc.* 2019;100:1775-94.
- Моисеева НА, Чурилова ТЯ, Ефимова ТВ, Скороход ЕЮ, Артемьев ВА, Юшманова АВ. Концентрация и флуоресценция хлорофилла-*a* в Атлантическом секторе Антарктики. *Океанология.* 2023;63(4):618-27.
- Efimova T, Churilova T, Skorokhod E, Buchelnikova V, Buchelnikov A, Moiseeva N, Salyuk P, Stepanchuk I, Melnik A. Effect of water trophic status on bio-optical properties and productive character-

- istics of phytoplankton of the Black Sea coastal waters near Sevastopol. *Marine Biol Res.* 2023;19(2-3): 81-93.
13. Ефимова ТВ, Чурилова ТЯ, Моисеева НА, Скороход ЕЮ, Бучельников АС, Бучельникова ВА. Продукционные характеристики фитопланктона атлантического сектора Южного океана астрономическим летом 2020 года в поверхностном слое вод. *Вестник Керченского государственного морского технологического университета.* 2024;(3):7-19.
  14. Efimova T, Churilova T, Skorokhod E, Buchelnikov A, Moiseeva N. Phytoplankton photosynthetic parameters and primary production in some Arctic regions during the summer of 2020. *J Marine Syst.* 2025;248:104050.
  15. Xi H, Losa SN, Brotas V, Gomes M, Peeken I, Mangin A, Bracher A. Two-decade satellite monitoring of surface phytoplankton functional types in the Atlantic Ocean. *Sci Rep.* 2022;12:12345.
  16. Roy S, Sathyendranath S, Bouman H, Platt T. The global distribution of phytoplankton size spectrum and size classes from their light-absorption spectra derived from satellite data. *Remote Sens Environ.* 2013;139:185-97.
  17. Зенкевич ЛА. Фауна и биологическая продуктивность моря. Т. 1-2. М.; 1947-1951.
  18. Falkowski PG, Barber RT, Smetacek V. Biogeochemical controls and feedbacks on ocean primary production. *Science.* 1998;281(5374):200-6.
  19. Киселев ИА. Планктон морей и континентальных водоемов. Т. 1. Л.: Наука; 1969.
  20. Field CB, Behrenfeld MJ, Randerson JT, Falkowski P. Primary production of the biosphere: Integrating terrestrial and oceanic components. *Science.* 1998;281(5374):237-40.
  21. Минеева НМ. Эколого-физиологические аспекты формирования первичной продукции планктона водохранилищ Волги. Дисс...д.б.н. Борок; 2003.
  22. Lovenduski NS, Gruber N, Doney SC, Lima ID. Enhanced CO<sub>2</sub> outgassing in the Southern Ocean due to climate variability in the austral winter. *Nat Geosci.* 2007;449(7161):871-4.
  23. Георгиева ЛВ, Сенчикова ЛГ. Фитопланктон Черного моря: современное состояние и перспективы исследований. *Экология моря.* 1996;45:6-13.
  24. Bologa AS, Frangopol PT, Vedernikov VI, Stelmakh LV, Yunev OA, Yilmaz A, Oguz T. Distribution of planktonic primary production in the Black Sea. In: *Environmental Degradation of the Black Sea: Challenges and Remedies.* Dordrecht: Springer Netherlands; 1999. P. 131-45.
  25. Oguz T, Gilbert D. Abrupt transitions of the top-down controlled Black Sea pelagic ecosystem during 1960–2000: evidence for regime-shifts under strong fishery exploitation and nutrient enrichment modulated by climate-induced variations. *Deep Sea Res Pt I Oceanographic Res Papers.* 2007;54(2):220-42.
  26. Yunev O, Carstensen J, Stelmakh L, Belokopytov V, Suslin V. Temporal changes of phytoplankton biomass in the western Black Sea shelf waters: Evaluation by satellite data (1998–2018). *Estuarine Coastal Shelf Sci.* 2022;271:107865.
  27. Морозова-Водяницкая НВ. Фитопланктон Черного моря. I. Фитопланктон в районе г. Севастополя и общий обзор фитопланктона Черного моря. *Труды Севастопольской биологической станции АН СССР.* 1948;6:39-172.
  28. Стельмах ЛВ, Губанов ВИ, Бабич ИИ. Сезонные изменения скорости роста и лимитирование фитопланктона питательными веществами в прибрежных водах Черного моря в районе Севастополя. *Морской экологический журнал.* 2004;3(4):55-73.
  29. Orekhova NA, Varenik AV. Current hydrochemical regime of the Sevastopol Bay. *Phys Oceanogr.* 2018;25(2):124-35.
  30. Stelmakh L, Kovrigina N, Gorbunova T. Phytoplankton adaptation strategies under the influence of climatic changes and anthropogenic pressure on the Black Sea coastal ecosystems on the example Sevastopol Bay. In: *9th International Symposium of Ecologists of Montenegro – ISEM9.* Podgorica: Institute for Biodiversity and Ecology; 2020. P. 29.
  31. Мансурова ИМ, Стельмах ЛВ, Ковригина НП, Бабич ИИ. Сезонная динамика фитопланктона Севастопольской бухты (Черное море) в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия. В кн.: *Биология водных экосистем в XXI веке: факты, гипотезы, тенденции.* Ярославль: Филигрань; 2021. С. 131.
  32. Stelmakh L, Kovrigina N, Gorbunova T. Phytoplankton seasonal dynamics under conditions of climate change and anthropogenic pollution in the western coastal waters of the Black Sea (Sevastopol Region). *J Marine Sci Engin.* 2023;11(3):569 (14 p.).
  33. Поликарпов ИГ, Сабурова МА, Манжос ЛА, Павловская НА, Гаврилова НА. Биологическое разнообразие микропланктона прибрежной зоны Черного моря в районе Севастополя (2001–2003 гг.). В кн.: *Еремеев ВН, Гаевская АВ, ред. Современное состояние биоразнообразия прибрежных вод Крыма (черноморский сектор).* Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика; 2003. С. 16-43.
  34. Сеничева МИ. Сезонная динамика численности, биомассы и продукции фитопланкто-

- на Севастопольской бухты. Экология моря. 1980;(1):3-11.
35. Финенко ЗЗ, Крупаткина ДК. Первичная продукция и размерная структура фитопланктона в зимне-весенний период. В кн.: Планктон Черного моря; 1993. С. 74-92.
  36. Финенко ЗЗ, Стельмах ЛВ, Мансурова ИМ, Георгиева ЕЮ, Цилинский ВС. Сезонная динамика структурных и функциональных показателей фитопланктонного сообщества в Севастопольской бухте. Системы контроля окружающей среды. 2017;9(29):73-82.
  37. Hallegraeff GM. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia*. 1993;32(2):79-99.
  38. Smayda TJ. Harmful algal blooms: their ecophysiology and general relevance to phytoplankton blooms in coastal waters. *Hydrobiologia*. 1997;352(1-3):1-39.
  39. Скороход ЕЮ, Ефимова ТВ, Моисеева НА, Землянская ЕА, Чурилова ТЯ. Сравнение значений концентрации хлорофилла а, восстановленных по данным спектрорадиометра MODIS-Aqua, с результатами измерений в прибрежных водах Черного моря в районе Севастополя. *Морской биологический журнал*. 2019;4(4):53-61.
  40. Скороход ЕЮ, Чурилова ТЯ, Ефимова ТВ, Моисеева НА, Суслин ВВ. Биооптические характеристики прибрежных вод Черного моря вблизи Севастополя: оценка точности спутниковых продуктов, восстановленных по данным MODIS и VIIRS. *Морской гидрофизический журнал*. 2021;(2):233-46.
  41. Виноградов МЕ, Флинт МВ (ред.). Структура и продукционные характеристики планктонных сообществ Черного моря. Сборник научных трудов. Москва: Наука; 1989.
  42. Falkowski P. Ocean science: The power of plankton. *Nature*. 2012;483:17-20.
  43. Герасимов ИП. Научные основы современного мониторинга окружающей среды. *Известия АН СССР. Сер геогр.* 1975;(3):13-25.
  44. Levin SA, Grenfell B, Hastings A, Perelson AS. Mathematical and computational challenges in population biology and ecosystem science. *Science*. 2001;275:334-43.
  45. Гунькова АК, Тихонов СЮ, Курченко ВМ, Подкидышева ЮК, Поспелова НВ, Лишаев ВН, Кузнецов АВ. От баз данных к экспериментам на модели Кадыковского карьера. В кн.: Актуальные вопросы биологической физики и химии. БФФХ-2023: материалы XVIII международной научной конференции, г. Севастополь, 11-15 сентября 2023 г. Севастополь; 2023. С. 119-20.
  46. Савицкий МА, Кузнецов АВ. Фракционирование планктона с помощью последовательной фильтрации и построение пирамид биоразнообразия. *Актуальные вопросы биологической физики и химии*. 2023;8(1):99-110.
  47. Гладыш МА, Хавронюк ИС, Таран НА, Гунькова АК, Челядина НС, Железнова СН, Лишаев ВН, Стельмах ЛВ, Кузнецов АВ. Сравнение микропланктона возле базы Мокроусова и в Форосе (Крым): объединение данных из разных источников. В кн.: Актуальные вопросы биологической физики и химии. БФФХ-2023: материалы XVIII международной научной конференции, г. Севастополь, 11-15 сентября 2023 г. Севастополь; 2023. С. 118-9.
  48. Гладыш МА, Курченко ВМ, Подкидышева ЮК, Кузнецов АВ. Комплексное исследование Гераклейского полуострова: от метеорологических данных до влияния катастроф. В кн.: Актуальные вопросы биологической физики и химии. БФФХ-2024: материалы XIX международной научной конференции, г. Севастополь, 16-20 сентября 2024 г. Севастополь; 2024. С. 93-4.
  49. Козинцев АФ, Бобко НИ, Лишаев ВН, Кузнецов АВ, Аннинский БЕ. Минеральный состав поверхностных пород и многообразие микропланктона пресных водоемов в рекреационной зоне Севастополя. *Экосистемы*. 2025;(41):166-79.
  50. Legendre P, Legendre L. *Numerical Ecology*. Elsevier; 1998.
  51. Longhurst AR. *Ecological Geography of the Sea*. Academic Press; 1998.
  52. Прошкина-Лавренко АИ. Диатомовые водоросли планктона Черного моря. М.-Л.: АН СССР; 1955.
  53. Молло П, Нури А. *Планктон. Учебное пособие*. Севастополь; 2019.
  54. Денисенко ОС. Современное состояние гидробиологических сообществ прибрежных акваторий Черного моря Республики Крым и города Севастополя (Каркынчицкий залив, Каламитский залив, Севастопольская бухта, Феодосийский залив). *Научное обозрение. Биологические науки*. 2023;(1):10-17.
  55. Стельмах ЛВ, Ковригина НП, Мансурова ИМ, Бабиц ИИ, Минина НВ. Реакция фитопланктонного сообщества прибрежных вод Черного моря на климатические изменения и антропогенное воздействие (регион Севастополя). В кн.: Актуальные проблемы изучения черноморских экосистем – 2020: тез. докл. Всерос. онлайн-конф., 19–22 октября 2020 г., Севастополь, Российская Федерация. Севастополь: ФИЦ ИнБЮМ; 2020. С. 85-6.

56. Irigoien X, Huisman J, Harris RP. Global biodiversity patterns of marine phytoplankton and zooplankton. *Nature*. 2004;429:881-4.
57. Turk D, Bruggeman J, Vichi M et al. Modelling plankton ecosystems at a global scale: formulation, implementation and validation of the plankton functional type component of the Ocean Carbon Cycle Model (OCCAM). *Geosci Model Develop*. 2011;4(1):117-41.
58. Fasham MJR, Ducklow HW, McKelvie SM. A nitrogen-based model of plankton dynamics in the oceanic mixed layer. *J Marine Res*. 2001;59(5):591-639.
59. Моисеева НА, Чурилова ТЯ, Скороход ЕЮ, Салюк ПА, Ефимова ТВ, Давыдова ДГ, Саушева АА, Самойлов МА. Связь концентрации хлорофилла-а с интенсивностью флуоресценции, регистрируемой погружным зондом в прибрежной акватории Камчатки. *Вестник Керченского государственного морского технологического университета*. 2024;(3):33-45.
60. Churilova TYa, Efimova TV, Moiseeva NA, Skorokhod EYu, Kalmykova DV, Sutorikhin IA, Kirillov VV. Comparison of bio-optical properties of optically complex waters with different trophic status. *Physi Oceanograph*. 2024;31(4):507-26.
61. Churilova T, Skorokhod E, Suslin V, Moiseeva N, Efimova T, Buchelnikov A. Assessment of the accuracy of Sentinel-3 OLCI L2 products retrieved by standard and regional algorithms for ecological monitoring of the Black Sea coastal and shelf waters. *Reg Stud Marine Sci*. 2024;79:103847.
62. Уфимцева МА, Кузнецов АВ. Экспресс-оценка размерных фракций планктона в акватории г. Севастополь зимой 2021–2022 гг.: модельные исследования. *Актуальные вопросы биологической физики и химии*. 2022;7(4):640-4.
63. Киселев ИА. Панцирные жгутиконосцы (Dinoflagellata) морей и пресных вод СССР. Определение по фауне СССР. Л.: Издательство Зоологического института АН СССР; 1950.
64. Мордухай-Болтовской ФД (ред.). Определитель беспозвоночных животных фауны Черного и Азовского морей. 3 тома. Киев: Киевская книжная фабрика; 1969.
65. Рябушко ЛИ. Микрофитобентос Черного моря. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика; 2013.
66. Murray JD. *Mathematical Biology*. Springer; 2002.
67. Langtangen HP. *A Primer on Scientific Programming with Python*. Springer; 2011.
68. Weinan E. *Principles of Multiscale Modeling*. Cambridge University Press; 2011.
69. Falconer K. *Fractal Geometry: Mathematical Foundations and Applications*. Wiley; 2003.
70. Seuront L. *Fractals and Multifractals in Ecology and Aquatic Science*. Boca Raton: CRC Press; 2009.
71. Colwell RK. Biodiversity: Concepts, Patterns and Measurement. In: Levin SA, ed. *The Princeton Guide to Ecology*. Princeton: Princeton University Press; 2009. P. 257-63.
72. Acevedo-Trejos E, Brandt G, Bruggeman J, Merico A. Mechanisms shaping size structure and functional diversity of phytoplankton communities in the ocean. *Sci Rep*. 2015;5:8918.
73. de Vargas C, Audic S, Henry N, et al. Ocean plankton. Eukaryotic plankton diversity in the sunlit ocean. *Science*. 2015;348:1261605.
74. Sommeria-Klein G, Watteaux R, Ibarbalz FM, Pierella Karlusich JJ, Iudicone D, Bowler C, Morlon H. Global drivers of eukaryotic plankton biogeography in the sunlit ocean. *Science*. 2021;374:594-9.
75. Бердников СВ, Селютин ВВ, Сурков ФА, Тютюнов ЮВ. Моделирование морских экосистем: опыт, современные подходы, направления развития (обзор). Часть 1. Сквозные модели. *Морской гидрофизический журнал*. 2022;38:105-22.
76. Chao A. Species richness estimation. In: Balakrishnan N, Read CB, Vidakovic B, eds. *Encyclopedia of Statistical Sciences*. New York: Wiley; 2005. P. 7909-16.
77. Xu S, Böttcher L, Chou T. Diversity in biology: definitions, quantification and models. *Phys Biol*. 2020;17:031001.
78. Финенко ЗЗ, Мансурова ИМ, Суслин ВВ. Динамика концентрации хлорофилла-а в Черном море по спутниковым измерениям. *Морской биологический журнал*. 2019;4(2):87-95.
79. Arhonditsis G, Karydis M, Tsirtsis G. Analysis of phytoplankton community structure using similarity indices: a new methodology for discriminating among eutrophication levels in coastal marine ecosystems. *Environ Manag*. 2003;31(5):619-32.
80. Lovejoy S, Schertzer D, Silas P. Multifractals and resolution dependence of remotely sensed data. *Geophys Res Lett*. 2001;28(10):1913-6.
81. Mitchell JG, Yamazaki H, Seuront L, Wolk F, Li H. Phytoplankton patch patterns: Seascape anatomy in a turbulent ocean. *J Marine Syst*. 2008;69(3-4):247-53.
82. Våge S, Thingstad TF. Fractal hypothesis of the pelagic microbial ecosystem – can simple ecological principles lead to self-similar complexity in the pelagic microbial food web? *Front Microbiol*. 2015;6:1357.
83. Halley JM, Hartley S, Kallimanis AS, Kunin WE, Lennon JJ, Sgardelis SP. Uses and abuses of frac-

- tal methodology in ecology. *Ecol Lett.* 2004;7(3): 254-71.
84. Израэль ЮА. Глобальная система наблюдений. Прогноз и оценка окружающей природной среды. Основы мониторинга. Метеорология и гидрология. 1974;(7):3-8.
  85. Siegel DA. Resource competition in a discrete environment. Why are plankton distributions paradoxical? *Limnol Oceanogr.* 1998;43:1133-46.
  86. Tett P. The ecology of plankton in Scottish coastal waters. *Proc Roy Soc Edinburgh Sec B.* 1992;100:27-54.
  87. Lotka AJ. *Elements of Physical Biology.* Baltimore: Williams & Wilkins; 1925.
  88. Volterra V. Fluctuations in the abundance of a species considered mathematically. *Nature.* 1926;118:558-60.
  89. Martinez ND. Artifacts or attributes? Effects of resolution on the Little Rock Lake food web. *Ecol Monogr.* 1991 61(4):367-92.
  90. Schroeder M. *Fractals, Chaos, Power Laws: Minutes from an Infinite Paradise.* New York: W.H. Freeman; 1991.
  91. Dunne JA. The Network Structure of Food Webs. In: Pascual M, Dunne JA (eds). *Ecological Networks: Linking Structure to Dynamics in Food Webs.* New York; 2005.
  92. Arai K, Derome R, Parrott L. Examining the potential effects of species aggregation on the network structure of food webs. *Bull Math Biol.* 2007;69(1):119-33.
  93. Белоусов БП. Периодически действующая реакция и ее механизм. Сборник рефератов по радиационной медицине. 1959;147:145.
  94. Zhabotinsky AM. Periodic processes of the oxidation of malonic acid in solution (study of the kinetics of Belousov's reaction). *Biophysics.* 1964;9:329-35.
  95. Cardinale BJ, Bennett DM, Nelson CE, Gross K. Does productivity drive diversity or vice versa? A test of the multivariate productivity-diversity hypothesis in streams. *Ecology.* 2009;90(5):1227-41.
  96. Mandelbrot BB. *The Fractal Geometry of Nature.* San Francisco: W.H. Freeman; 1982.
  97. Turcotte DL. *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics.* Cambridge: Cambridge University Press; 1997.
  98. Record NR, Pershing AJ, Maps F. The paradox of the "paradox of the plankton". *ICES J Marine Sci.* 2014;71(2):236-40.
  2. Beklemishev KV. *Ekologiya i Biogeografiya Pelagialii.* [Ecology and Biogeography of the Pelagic Zone]. Moscow; 1969. (In Russ.)
  3. Cloern JE. Phytoplankton bloom dynamics in coastal ecosystems: A review with some general lessons from sustained investigation of San Francisco Bay, California. *Rev Geophys.* 1996;34(2):127-68.
  4. Ward BA, Dutkiewicz S, Follows MJ. Modelling spatial and temporal patterns in size-structured marine plankton communities: top-down and bottom-up controls. *J Plankton Res.* 2014;36(1):31-47.
  5. Vinogradov MYe. *Vertikalnoye Raspredeleniye Okeanicheskogo Planktona.* Moscow; 1968. (In Russ.)
  6. Margalef R. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanol Acta.* 1978;1(4):493-509.
  7. Falkowski P, Scholes RJ, Boyle E et al. The global carbon cycle: A test of our knowledge of earth as a system. *Science.* 2000;290(5490):291-6.
  8. Sarmiento JL, Slater R, Barber R, Bopp L, Doney SC, Hirst AC, Kleypas J, Matear R, Mikolajewicz U, Monfray P, Soldatov V, Spall SA, Stouffer R. Response of ocean ecosystems to climate warming. *Glob Biogeochem Cycles.* 2004;18(3):GB3003.
  9. McClain CR. A decade of satellite ocean color observations. *Annu Rev Mar Sci.* 2009;1:19-42.
  10. Werdell PJ, Behrenfeld MJ, Bontempi PS et al. The Plankton, Aerosol, Cloud, ocean Ecosystem mission: Status, science, advances. *Bull Am Meteorol Soc.* 2019;100:1775-94.
  11. Moiseeva NA, Churilova TYa, Efimova TV, Skorokhod EYu, Artemyev VA, Yushmanova AV. [Concentration and fluorescence of chlorophyll-a in The Atlantic sector of Antarctic]. *Okeanologiya.* 2023;63(4):618-27. (In Russ.)
  12. Efimova T, Churilova T, Skorokhod E, Buchelnikova V, Buchelnikov A, Moiseeva N, Salyuk P, Stepochkin I, Melnik A. Effect of water trophic status on bio-optical properties and productive characteristics of phytoplankton of the Black Sea coastal waters near Sevastopol. *Marine Biol Res.* 2023;19(2-3):81-93.
  13. Yefimova TV, Churilova TYa, Moiseyeva NA, Skorokhod EYu, Buchelnikov AS, Buchelnikova VA. [Production characteristics of phytoplankton in the Atlantic sector of the Southern Ocean during the astronomical summer of 2020 in the surface layer of waters]. *Vestnik Kerchenskogo Gosudarstvennogo Morskogo Tekhnologicheskogo Universiteta* 2024;(3):7-19. (In Russ.)
  14. Efimova T, Churilova T, Skorokhod E, Buchelnikov A, Moiseeva N. Phytoplankton photosynthetic parameters and primary production in some

#### Reference List

1. Hutchinson GE. The paradox of the plankton. *Am Nat.* 1961;95(882):137-45.

- Arctic regions during the summer of 2020. *J Marine Syst.* 2025;248:104050.
15. Xi H, Losa SN, Brotas V, Gomes M, Peeken I, Mangin A, Bracher A. Two-decade satellite monitoring of surface phytoplankton functional types in the Atlantic Ocean. *Sci Rep.* 2022;12:12345.
  16. Roy S, Sathyendranath S, Bouman H, Platt T. The global distribution of phytoplankton size spectrum and size classes from their light-absorption spectra derived from satellite data. *Remote Sens Environ.* 2013;139:185-97.
  17. Zenkevich LA. Fauna i Biologicheskaya Produktivnost Moria. [Fauna and Biological Productivity of the Sea Vol. 1-2]. Moscow; 1947-1951. (In Russ.)
  18. Falkowski PG, Barber RT, Smetacek V. Biogeochemical controls and feedbacks on ocean primary production. *Science.* 1998;281(5374):200-6.
  19. Kiselev IA. Plankton Morey i Kontinentalnykh Vodoyomov. [Plankton of Seas and Continental Water Bodies]. Leningrad: Nauka; 1969. (In Russ.)
  20. Field CB, Behrenfeld MJ, Randerson JT, Falkowski P. Primary production of the biosphere: Integrating terrestrial and oceanic components. *Science.* 1998;281(5374):237-40.
  21. Mineyeva NM. Ekologo-Fiziologicheskie Aspekty Formirovaniya Pervichnoy Produktivnosti Planktona Vodokhranilishch Volgi. [Ecological and Physiological Aspects of Primary Production of Plankton in the Reservoirs of Volga]. PhD Dissertation. Borok; 2003. (In Russ.)
  22. Lovenduski NS, Gruber N, Doney SC, Lima ID. Enhanced CO<sub>2</sub> outgassing in the Southern Ocean due to climate variability in the austral winter. *Nat Geosci.* 2007;449(7161):871-4.
  23. Georgiyeva LV, Senichkina LG. [Phytoplankton of the Black Sea: current state and research prospects]. *Ekologiya morya.* 1996;45:6-13. (In Russ.)
  24. Bologa AS, Frangopol PT, Vedernikov VI, Stelmakh LV, Yunev OA, Yilmaz A, Oguz T. Distribution of planktonic primary production in the Black Sea. In: *Environmental Degradation of the Black Sea: Challenges and Remedies.* Dordrecht: Springer Netherlands; 1999. P. 131-45.
  25. Oguz T, Gilbert D. Abrupt transitions of the top-down controlled Black Sea pelagic ecosystem during 1960-2000: evidence for regime-shifts under strong fishery exploitation and nutrient enrichment modulated by climate-induced variations. *Deep Sea Res Pt I Oceanographic Res Papers.* 2007;54(2):220-42.
  26. Yunev O, Carstensen J, Stelmakh L, Belokopytov V, Suslin V. Temporal changes of phytoplankton biomass in the western Black Sea shelf waters: Evaluation by satellite data (1998-2018). *Estuarine Coastal Shelf Sci.* 2022;271:107865.
  27. Morozova-Vodyanitskaya NV. [Phytoplankton of the Black Sea. I. Phytoplankton in the vicinity of Sevastopol and a general review of the phytoplankton of the Black Sea]. *Trudy Sevastopolskoy Biologicheskoy Stantsii AN SSSR* 1948;6:39-172. (In Russ.)
  28. Stelmakh LV, Gubanov VI, Babich II. [Seasonal dynamics of growth rates and nutrient limitation of phytoplankton in the coastal waters of the Black Sea in vicinity of Sevastopol]. *Morskoy Ekologicheskiy Zhurnal* 2004;3(4):55-73. (In Russ.)
  29. Orekhova NA, Varenik AV. Current hydrochemical regime of the Sevastopol Bay. *Phys Oceanogr.* 2018;25(2):124-35.
  30. Stelmakh L, Kovrigina N, Gorbunova T. Phytoplankton adaptation strategies under the influence of climatic changes and anthropogenic pressure on the Black Sea coastal ecosystems on the example Sevastopol Bay. In: *9th International Symposium of Ecologists of Montenegro – ISEM9.* Podgorica: Institute for Biodiversity and Ecology, 2020. P. 29.
  31. Mansurova IM, Stelmakh LV, Kovrigina NP, Babich II. [Seasonal dynamics of phytoplankton in Sevastopol Bay (Black Sea) under the influence of climate change and anthropogenic impact]. In: *Biologiya Vodnykh Ekosistem v XXI Veke: Fakti, Gipotezy, Tendentsii.* Yaroslavl: Filigran; 2021. P. 131. (In Russ.)
  32. Stelmakh L, Kovrigina N, Gorbunova T. Phytoplankton seasonal dynamics under conditions of climate change and anthropogenic pollution in the western coastal waters of the Black Sea (Sevastopol Region). *J Marine Sci Engin.* 2023;11(3):569.
  33. Polikarpov IG, Saburova MA, Manzhos LA, Pavlovskaya NA, GavriloVA NA. [Biodiversity of microplankton in the coastal zone of the Black Sea in Sevastopol vicinity (2001–2003)]. In: *Eremeyv V.N., Gaevskaya A.V., eds. Sovremennoe Sostoyanie Bioraznoobraziya Priberezhnykh vod Kryma (Chernomorskiy Sektor).* Sevastopol: EKO-SI-Gidrofizika; 2003. P. 16-43. (In Russ.)
  34. Senicheva MI. [Seasonal dynamics of the number, biomass and productivity of phytoplankton in Sevastopol Bay]. *Ekologiya Moria.* 1980;(1):3-11. (In Russ.)
  35. Finenko ZZ, Krupatkin DK. [Primary production and size structure of phytoplankton in the winter-spring period]. In: *Plankton Chornogo Moria. [Plankton of the Black Sea];* 1993. P. 74-92. (In Russ.)
  36. Finenko ZZ, Stelmakh LV, Mansurova IM, Georgiyeva EYu, Tsilinsky VS. [Seasonal dynamics of structural and functional characteristics of phytoplankton community in Sevastopol Bay]. *Sistemy Kontrolia Okruzhayushchey Sredy.* 2017;9(29):73-82. (In Russ.)

37. Hallegraeff GM. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia*. 1993;32(2):79-99.
38. Smayda TJ. Harmful algal blooms: their eco-physiology and general relevance to phytoplankton blooms in coastal waters. *Hydrobiologia*. 1997;352(1-3):1-39.
39. Skorokhod EYu, Efimova TV, Moiseeva NA, Zemlyanskaya EA, Churilova TYa. [Comparison of chlorophyll-a concentrations restored from MODIS-Aqua spectroradiometer data with measurement results in the coastal waters of the Black Sea in the vicinity of Sevastopol]. *Morskoy Biologicheskii Zhurnal*. 2019;4(4):53-61. (In Russ.)
40. Skorokhod EYu, Churilova TYa, Efimova TV, Moiseeva NA, Suslin VV. [Bio-optical characteristics of the coastal waters of the Black Sea near Sevastopol: assessment of the accuracy of satellite products restored from MODIS and VIIRS data]. *Morskoy Gidrofizicheskii Zhurnal*. 2021;(2):233-46. (In Russ.)
41. Vinogradov ME, Flint MV, eds. *Struktura i Produktsionnye Kharakteristiki Planktonnykh Soobshchestv Chernogo Moria*. [Structural and Productional Characteristics of Plankton Communities of the Black Sea]. Moscow; 1968. (In Russ.)
42. Falkowski P. Ocean science: The power of plankton. *Nature*. 2012;483:17-20.
43. Gerasimov IP. [Scientific basis of modern environmental monitoring]. *Izvestiya AN SSSR Seriya Geografiya*. 1975;(3):13-25. (In Russ.)
44. Levin SA, Grenfell B, Hastings A, Perelson AS. Mathematical and computational challenges in population biology and ecosystem science. *Science*. 2001;275:334-43.
45. Gun'kova AK, Tikhonov SYu, Kurchenko VM, Pokkidysheva YuK, Pospalova NV, Lishayev VN, Kuznetsov AV. [From databases to experiments using Kadykovskiy open pit as a model]. In: *Aktualnye Voprosy Biologicheskoy Fiziki i Khimii*. Sevastopol; 2023. P. 119-20. (In Russ.)
46. Savitsky MA, Kuznetsov AV. [Fractionation of plankton by sequential filtration and construction of biodiversity pyramids]. *Aktualnye Voprosy Biologicheskoy Fiziki i Khimii*. 2023;8(1):99-110. (In Russ.)
47. Gladyshev MA, Khavroniuk IS, Taran NA, Gunkova AK, Cheliadina NS, Zheleznova SN, Lishayev VN, Stelmakh LV, Kuznetsov AV. [Comparison of microplankton near Mokrousov Base and in Foros (Crimea): combining data from different sources]. In: *Aktualnye Voprosy Biologicheskoy Fiziki i Khimii*. Sevastopol; 2023. P. 118-9. (In Russ.)
48. Gladyshev MA, Kurchenko VM, Podkidysheva YK, Kuznetsov AV. [Comprehensive study of the Heraclea Peninsula: from meteorological data to the impact of disasters]. In: *Aktualnye Voprosy Biologicheskoy Fiziki i Khimii*. Sevastopol; 2024. P. 93-4. (In Russ.)
49. Kozintsev AF, Bobko NI, Lishayev VN, Kuznetsov AV, Anninsky BYe. [Mineral composition of surface rocks and diversity of microplankton in fresh water bodies of the recreational zone of Sevastopol]. *Ekosistemy*. 2025;(41):166-79. (In Russ.)
50. Legendre P, Legendre L. *Numerical Ecology*. Elsevier; 1998.
51. Longhurst AR. *Ecological Geography of the Sea*. Academic Press; 1998.
52. Proshkina-Lavrenko AI. *Diatomovye Vodorosli Planktona Chornogo Moria*. [Diatom Algae of Black Sea Plankton]. Moscow-Leningrad: AN SSSR; 1955. (In Russ.)
53. Mollo P., Nuri A. *Plankton Uchebnoye Posobiye*. Sevastopol; 2019. (In Russ.)
54. Denisenko OS. [Current state of hydrobiological communities in the coastal waters of the Black Sea of the Republic of Crimea and the city of Sevastopol (Karkynchitskiy Bay, Kalamitkiy Bay, Sevastopol Bay, Feodosiyskiy Bay)]. *Nauchnoye Obozreniye Biologicheskoye Nauki* 2023;(1):10-7. (In Russ.)
55. Stelmakh LV, Kovrigina NP, Mansurova IM, Babich II, Minina NV. [Response of the phytoplankton community of the coastal waters of the Black Sea to climate change and anthropogenic impact (Sevastopol region)]. In: *Aktualnye Problemy Izucheniya Chernomorskikh Ekosistem Sevastopol: FIC InBYUM*; 2020. P. 85-6. (In Russ.)
56. Irigoien X, Huisman J, Harris RP. Global biodiversity patterns of marine phytoplankton and zooplankton. *Nature*. 2004;429:881-4.
57. Turk D, Bruggeman J, Vichi M et al. Modelling plankton ecosystems at a global scale: formulation, implementation and validation of the plankton functional type component of the Ocean Carbon Cycle Model (OCCAM). *Geosci Model Develop*. 2011;4(1):117-41.
58. Fasham MJR, Ducklow HW, McKelvie SM. A nitrogen-based model of plankton dynamics in the oceanic mixed layer. *J Marine Res*. 2001;59(5):591-639.
59. Moiseeva NA, Churilova TYa, Skorokhod EYu, Saliuk PA, Efimova TV, Davydova DG, Sausheva AA, Samoylov MA. [The relation between chlorophyll-a concentration and the intensity of fluorescence measured with a submersible probe in the coastal waters of Kamchatka]. *Vestnik Kherchenskogo Gosudarstvennogo Morskogo Tekhnologicheskogo Universiteta* 2024;(3):33-45. (In Russ.)

60. Churilova TYa, Efimova TV, Moiseeva NA, Skorokhod EYu, Kalmykova DV, Sutorikhin IA, Kirillov VV. Comparison of bio-optical properties of optically complex waters with different trophic status. *Phys Oceanograph*. 2024;31(4):507-26.
61. Churilova T, Skorokhod E, Suslin V, Moiseeva N, Efimova T, Buchelnikov A. Assessment of the accuracy of Sentinel-3 OLCI L2 products retrieved by standard and regional algorithms for ecological monitoring of the Black Sea coastal and shelf waters. *Reg Stud Marine Sci*. 2024;79:103847.
62. Ufimtseva MA, Kuznetsov AV. [Express assessment of plankton size fractions in the waters of Sevastopol in winter 2021-2022: modeling studies]. *Aktualnye Voprosy Biologicheskoy Fiziki i Khimii*. 2022;7(4):640-4. (In Russ.)
63. Kiselev IA. *Pantsernye Zhgutikonostsy (Dinoflagellata) Morey i Presnykh Vod SSSR. [Dinoflagellates (Dinoflagellata) of Seas and Fresh Waters of the USSR]*. Leningrad: Izdatelstvo Zoologicheskogo Instituta AN SSSR; 1950. (In Russ.)
64. Mordukhay-Boltovskoy FD (ed.). *Opredelitel Bespozvonochnykh Zhivotnykh Fauny Chornogo i Azovskogo Morey. [Guide to Invertebrates of the Black and Azov Seas]*. Kiev: Kievskaya Knizhnaya Fabrika; 1969. (In Russ.)
65. Riabushko LI. *Mikrofitobentos Chornogo Moria. [Microphytobenthos of the Black Sea]*. Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika; 2013. (In Russ.)
66. Murray JD. *Mathematical Biology*. Springer; 2002.
67. Langtangen HP. *A Primer on Scientific Programming with Python*. Springer; 2011.
68. Weinan E. *Principles of Multiscale Modeling*. Cambridge University Press; 2011.
69. Falconer K. *Fractal Geometry: Mathematical Foundations and Applications*. Wiley; 2003.
70. Seuront L. *Fractals and Multifractals in Ecology and Aquatic Science*. Boca Raton: CRC Press; 2009.
71. Colwell RK. Biodiversity: Concepts, Patterns and Measurement. In: Levin SA, ed. *The Princeton Guide to Ecology*. Princeton: Princeton University Press; 2009. P. 257-63.
72. Acevedo-Trejos E, Brandt G, Bruggeman J, Merico A. Mechanisms shaping size structure and functional diversity of phytoplankton communities in the ocean. *Sci Rep*. 2015;5:8918.
73. de Vargas C, Audic S, Henry N et al. Ocean plankton. Eukaryotic plankton diversity in the sunlit ocean. *Science*. 2015;348:1261605.
74. Sommeria-Klein G, Watteaux R, Ibarbalz FM, Pierella Karlusich JJ, Iudicone D, Bowler C, Morlon H. Global drivers of eukaryotic plankton biogeography in the sunlit ocean. *Science*. 2021;374:594-9.
75. Berdnikov SV, Seliutin VV, Surkov FA, Tiutiunov YV. [Modeling of marine ecosystems: experience, modern approaches, and directions of development (a review). Part 1. Integrated models]. *Morskoy Gidrofizicheskiy Zhurnal*. 2022;38:105-22. (In Russ.)
76. Chao A. Species richness estimation. In: Balakrishnan N, Read CB, Vidakovic B, eds. *Encyclopedia of Statistical Sciences*. New York: Wiley; 2005. P. 7909-16.
77. Xu S, Böttcher L, Chou T. Diversity in biology: definitions, quantification and models. *Phys Biol*. 2020;17:031001.
78. Finenko ZZ, Mansurova IM, Suslin VV. [Dynamics of chlorophyll-a concentration in the Black Sea according to satellite measurements]. *Morskoy Biologicheskii Zhurnal*. 2019;4(2):87-95. (In Russ.)
79. Arhonditsis G, Karydis M, Tsirtsis G. Analysis of phytoplankton community structure using similarity indices: a new methodology for discriminating among eutrophication levels in coastal marine ecosystems. *Environ Manag*. 2003;31(5):619-32.
80. Lovejoy S, Schertzer D, Silas P. Multifractals and resolution dependence of remotely sensed data. *Geophys Res Lett*. 2001;28(10):1913-6.
81. Mitchell JG, Yamazaki H, Seuront L, Wolk F, Li H. Phytoplankton patch patterns: Seascape anatomy in a turbulent ocean. *J Marine Syst*. 2008;69(3-4):247-53.
82. Våge S, Thingstad TF. Fractal hypothesis of the pelagic microbial ecosystem – can simple ecological principles lead to self-similar complexity in the pelagic microbial food web? *Front Microbiol*. 2015;6:1357.
83. Halley JM, Hartley S, Kallimanis AS, Kunin WE, Lennon JJ, Sgardelis SP. Uses and abuses of fractal methodology in ecology. *Ecol Lett*. 2004;7(3):254-71.
84. Izrael YuA. [Global monitoring system. Forecast and assessment of the natural environment. Basics of Monitoring]. *Meteorologiya i Gidrologiya*. 1974;(7):3-8. (In Russ.)
85. Siegel DA. Resource competition in a discrete environment. Why are plankton distributions paradoxical? *Limnol Oceanogr*. 1998;43:1133-46.
86. Tett P. The ecology of plankton in Scottish coastal waters. *Proc Roy Soc Edinburgh Sec B*. 1992;100:27-54.
87. Lotka AJ. *Elements of Physical Biology*. Baltimore: Williams & Wilkins; 1925.
88. Volterra V. Fluctuations in the abundance of a species considered mathematically. *Nature*. 1926;118:558-60.
89. Martinez ND. Artifacts or attributes? Effects of resolution on the Little Rock Lake food web. *Ecol Monogr*. 1991 61(4):367-92.

90. Schroeder M. *Fractals, Chaos, Power Laws: Minutes from an Infinite Paradise*. New York: W.H. Freeman; 1991.
91. Dunne JA. *The Network Structure of Food Webs*. In: Pascual M, Dunne JA (eds). *Ecological Networks: Linking Structure to Dynamics in Food Webs*. New York; 2005.
92. Arie K, Derome R, Parrott L. Examining the potential effects of species aggregation on the network structure of food webs. *Bull Math Biol*. 2007;69(1):119-33.
93. Belousov BP. [Periodically acting reaction and its mechanism]. In: *Sbornik Referatov po Radiatsionnoy Meditsine*. 1959;147:145. (In Russ.)
94. Zhabotinsky AM. Periodic processes of the oxidation of malonic acid in solution (study of the kinetics of Belousov's reaction). *Biophysics*. 1964;9:329-35.
95. Cardinale BJ, Bennett DM, Nelson CE, Gross K. Does productivity drive diversity or vice versa? A test of the multivariate productivity-diversity hypothesis in streams. *Ecology*. 2009;90(5):1227-41.
96. Mandelbrot BB. *The Fractal Geometry of Nature*. San Francisco: W.H. Freeman; 1982.
97. Turcotte DL. *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics*. Cambridge: Cambridge University Press; 1997.
98. Record NR, Pershing AJ, Maps F. The paradox of the «paradox of the plankton». *ICES J Marine Sci*. 2014;71(2):236-40.



# ЛЕЖБИЩЕ СИВУЧЕЙ (*EUMETOPIAS JUBATUS*) НА ВОЛНОЛОМЕ ПОРТА НЕВЕЛЬСК В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Е.С. Васюков<sup>1, 2\*</sup>, А.Д. Кириллова<sup>3, 4</sup>, С.В. Любаченко<sup>5</sup>,  
В.Н. Бурканов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга, г. Петропавловск-Камчатский, Россия;

<sup>2</sup> РОО «Совет по морским млекопитающим», Москва, Россия; <sup>3</sup> Национальный парк «Командорские острова» имени С.В. Мараква, п. Никольское, Россия; <sup>4</sup> Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия; <sup>5</sup> РОО «Русское географическое общество», г. Южно-Сахалинск, Россия

\* Эл. почта: egor.vasyukov@list.ru

Статья поступила в редакцию: 28.03.2025; принята к печати 02.06.2025

На волноломе в порту в черте города Невельска сивучи залегают с 1960-х годов, но информации по этому лежбищу немного. Цель нашей работы – описать обитание сивучей на данном лежбище в условиях значительной антропогенной нагрузки. Волнолом используется сивучами как место отдыха в нагульный период жизни. Самки предпочитают ровные широкие плиты, молодые звери, полусекачи и секачи – низинные участки. Поведение сивучей в апреле соответствует нерепродуктивному периоду, но с помощью аэрофотосъемки и стационарной веб-камеры отмечены случаи спаривания и родов (абортов). Определена численность сивуча по половозрастным группам. Максимальная численность с учетом скоплений на воде зафиксирована 25 апреля – 2799 особей. На лежбище присутствовали разновозрастные звери обоих полов. Самки составляли в среднем 53,9% всех сивучей на волноломе, молодые животные – 36,3%, полусекачи – 8,0%, секачи – 1,8%. Зарегистрировано 206 меченых зверей с 5 лежбищ Курильских островов и 3 лежбищ Охотского моря. Основным источником беспокойства для животных на лежбище – регулярные морские экскурсии на катерах. За время наблюдений зафиксировано 93 случая беспокойства, из которых 17 привели к паническому скходу толеней в воду. Отмечены случаи травмирования сивучей о выступающие из разрушающегося волнолома острые стальные прутья арматуры и один случай гибели животного от подобной травмы. Панические скходы в воду при беспокойстве могут приводить к более частому травмированию.

**Ключевые слова:** сивуч, антропогенное воздействие, беспокойство, травмированность.

## A HAUL-OUT OF STELLER SEA LIONS (*EUMETOPIAS JUBATUS*) LOCATED ON THE MOLE OF NEVELSK PORT UNDER ANTHROPOGENIC IMPACT

Ye.S. Vasiukov<sup>1, 2\*</sup>, A.D. Kirillova<sup>3, 4</sup>, S.V. Liubachenko<sup>5</sup>, V.N. Burkanov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kamchatka State University named after Vitus Bering, Petropavlovsk-Kamchatskiy, Russia; <sup>2</sup> Council for Marine Mammals, Moscow, Russia; <sup>3</sup> National Park “Komandorskiye Ostrova” named after S.V. Marakov, Nikolskoye, Russia;

<sup>4</sup> Kamchatka Branch of Pacific Institute of Geography of the Far-East Branch of the Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatskiy, Russia; <sup>5</sup> Regional Branch of Russian Geographical Society, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

\* Email: egor.vasyukov@list.ru

Steller sea lions dwell of the breakwater of Nevelsk Port since 1960s. However, information about this haul-out is scarce. The objective of the present study was to describe sea lions' life under considerable anthropogenic impact. The breakwater is used by the sea lions for rest in the foraging period of their life. Females prefer broad smooth upper plates, whereas juveniles, subadult males, and adult males prefer lower tiers. Behavior in April generally conforms to the non-reproductive period; however, using aerial photography and stationary web-camera it was possible to detect mating and abortive birth events. Sex and age group distributions of the sea lions were assessed. The maximal number (2799) including gatherings seen in water was detected on April 25. All sex and age groups were present. Female proportion was 53.9% on average. juveniles, subadult males, and adult males made 36.3%, 8.0%, and 1.8% respectively. There were detected 206 branded sea lions originating from 5 haul-outs located in Kuril Islands and 3 haul-out located in Okhotsk Sea. During the study, 93 cases of disturbance were recorded, 17 of which lead to panic responses manifested as flights into water. Cases of injuries incurred by steel bars protruding from the ruining breakwater were detected including one case of death. Panic responses can increase the likelihood of injuries.

**Keywords:** steller sea lion, anthropogenic impact, disturbance, injuries.

## Введение

Ареал сивуча охватывает прибрежные воды Северной Америки от Калифорнии до Берингова пролива и от него на юг вдоль побережья Азии до о. Хонсю и Японского моря, включая Татарский пролив, где расположен Невельск.

У Сивучей чередуются два периода жизни. Лежбищный, он же репродуктивный, и номадный, при котором они мигрируют в поисках пищи, выходя на сушу только для отдыха. В местах с высокой концентрацией пищевых объектов звери задерживаются на длительное время и недалеко от них образуют лежбища для отдыха на твердом субстрате. Особенностью лежбища сивучей в порту Невельск является то, что звери используют в качестве субстрата созданное человеком гидротехническое сооружение – волнолом, построенный в 1925 году.

Со второй половины XX века он стал пристанищем сивучей. Впервые появление сивучей на волноломе описывает капитан 3-го ранга Поленов Ю.В. в 1965 году<sup>1</sup>.

Систематические наблюдения за сивучами в районе Невельска не проводились. Об особенностях жизни сивучей на волноломе в 1990-е годы сообщали местные газеты. Из них известно, что приход сивучей традиционно начинался в середине февраля, и к началу марта численность достигала 20–30 особей, а уходили звери к концу мая<sup>2,3,4,5,6</sup>. Описаны случаи стрельбы и беспокойства животных, выбросы мертвых и раненых зверей на берег<sup>7,8</sup>, попытка выходить горожанами раненого сивученка<sup>9</sup> и даже охоту косаток<sup>10</sup> на сивучей у волнолома. Мы обнаружили только четыре публикации с упоминанием о численности животных на этом лежбище [2, 3, 7, 8]. Однако эти данные единичны и сильно разрознены по времени.

В 2007 году в результате землетрясения южный конец волнолома соединился с сушей, что открыло проход на него для людей и бродячих собак. Поэтому в 2010 году доступ на волнолом был перекрыт бетонной стеной. Однако это не решило проблему беспокойства.

В настоящее время популярны морские туристические экскурсии к сивучам на легких моторных катерах и лодках, которые нередко подходят к сивучам слишком близко и создают для них сильное беспокойство.

<sup>1</sup> Коваленко И. Наши сивучи. Молодая гвардия. 19 мая 1990.

<sup>2</sup> Захарченко Л. Оберегать и охранять. Невельские новости. 25 марта 1998.

<sup>3</sup> Коваленко И. Они облюбовали [Невельский] порт. Невельские новости. 25 мая 1999.

<sup>4</sup> Очеров П. Сивучи приплыли. Весна. Советский Сахалин. 28 марта 1997.

<sup>5</sup> Очеров П. Пльвите, сивучи. Советский Сахалин. 25 апр. 2000.

<sup>6</sup> Сергеев В. Добро пожаловать, сивучи! Невельские новости. 7 марта 2000.

<sup>7</sup> Коваленко И. За помощью – к людям. Невельские новости. 1 августа 1995.

<sup>8</sup> Коваленко И. Сивуч выскочил на мель. Невельские новости. 19 мая 1998.

<sup>9</sup> Коваленко И. Как спасали сивученка. Невельские новости. 23 июня 1992.

<sup>10</sup> Сергеев В. Косатки напали на сивучей. Невельские новости. 27 мая 2000.

С 1994 года сивуч включен Красную книгу России, в настоящее время имеет статус редкого исчезающего вида, находящегося под охраной государства. Однако в условиях политики приоритетного развития рекреационного направления в использовании животного мира на лежбище сивуча в порту Невельск проводятся многочисленные экскурсии без учета влияния беспокойства на благополучие животных. Поэтому важно знать последствия антропогенной деятельности на редкий вид фауны России. Это актуально и для других районов, в которых активно проводятся туристические экскурсии на лежбища не только сивуча, но и других видов морских млекопитающих.

В водах Российской Федерации более 30 лет выполнялась программа мечения сивучей на лежбищах [9]. Меченые животные регулярно встречаются на волноломе, и это позволяет выяснить место рождения, возраст и пол животных, приходящих для отдыха на волнолом.

Целью нашего исследования было изучить функционирование лежбища сивучей на гидротехническом сооружении порта Невельск, их реакции на антропогенные факторы беспокойства. Для этого были проведены работы по оценке численности сивучей на волноломе, их полового и возрастного состава, репродуктивного статуса, происхождения и поведения. Дана оценка перспективе использовать стационарную веб-камеру для наблюдений.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Место исследования

Невельск – город-порт на Дальнем Востоке России (46°39' с. ш. 141°52' в. д.), административный центр Невельского района Сахалинской области. Система защиты порта от волнения моря состоит из северного и южного волноломов, не соединенных между собой. Между ними проходит фарватер для захода и выхода судов в порт из Японского моря. Сивучи занимают только южный волнолом (46°41'сш; 141°52'вд). Он представляет собой дамбу протяженностью около 330 м, сооруженную из прямоугольных каменно-бетонных плит, соединенных между собой стальной арматурой. Высота над уровнем моря от 0,5 до 2,0 м в зависимости от сохранности верхних плит и стадии прилива или отлива. На расстоянии 30 м от крайней южной точки волнолом перекрыт поперек бетонной стеной высотой около 4 м, о которой сказано выше. Далее на протяжении 250 м волнолом плавно расширяется с 2 до 6,5 м с небольшим загибом в северо-западном направлении. Северная оконечность волнолома находится на расстоянии 45 м от этого загиба. Ширина волнолома в крайней северной точке составляет 7,4 м. Общая доступная площадь для залегания животных составляет примерно 1700 м<sup>2</sup>. В настоящий момент некоторые участки волнолома находят-

ся в аварийном состоянии, и концы стальной арматуры представляют серьезную опасность для сивучей.

### Сроки исследований

Прямые наблюдения на лежбище выполнялись в 2024 году с 31 марта по 25 апреля, как правило, с 9 утра до 6 часов вечера. С 26 по 29 апреля мы наблюдали за лежбищем дистанционно с помощью веб-камеры, доступ к которой был предоставлен ее владельцем Пьянниковым А.С.

### Наблюдение за численностью

Визуальные прямые учеты были крайне затруднены из-за отсутствия рядом с лежбищем возвышенности, с которой бы животные были хорошо видны. Для учета сивучей использовался квадрокоптер (БПЛА) модели DJI Mavic 2 PRO. Полеты выполнялись 12 дней в период с 14 по 25 апреля. Съемка по возможности проводилась трижды в течение дня – утром (в интервале 9:30–12:00), днем (13:00–16:00) и вечером (17:00–20:00). Аэрофотосъемку проводили по времени параллельно с работой веб-камеры. Высота полета изменялась от 8 до 20 м от уровня моря, скорость 2–3 м/с, интервал съемки 2 кадр/с. Всего было выполнено 18 полных полетов и получено 4563 фотографий. Пилотирование БПЛА осуществлялось на дистанции прямой видимости и в ручном режиме в программе «DJI GO 4». Полет для подсчета численности выполнялся строго над волноломом с фокусировкой съемки по всей его ширине. При поиске меченых животных полет прои-

водился как над волноломом, так и с боков с углом наклона камеры в 45°. Специальные полеты для съемки и подсчета животных в воде во внутренней и внешней акватории вокруг волнолома не проводились. Животные в воде в оценку численности включались, только если они находились рядом с волноломом. При подсчете животных выделяли следующие половые и возрастные группы: секачи-самцы возраста 7 лет и старше, полусекачи-самцы возраста 4–6 лет, молодые – самцы и самки возраста 1–3 года; самки – взрослые самки возраста 4 года и старше, неизвестные – звери, пол и возраст которых установить не представилось возможным. Исторически сложилось, что используют именно эти категории, так как они хорошо различимы морфологически (размер, форма тела, ширина ласт и др.).

Помимо съемки с БПЛА учет сивучей на волноломе проводили на стоп-кадрах, полученных с помощью веб-камеры модели «Arax RNW-802-Z50ir» с 50-кратным оптическим зумом, максимальным разрешением видеопотока 8,0 Мп и возможностью дистанционного управления через Интернет. Камера была установлена на здании на высоте 4 м над уровнем моря напротив волнолома на удалении 630 м от лежбища. Интерфейс управления камерой (рис. 1) позволял поворачивать ее для осмотра всего волнолома и прилегающую к нему акваторию, делать фотографии, записывать видео, регулировать зум и фокусировать изображение.

Ежедневно для учета численности с веб-камеры создавали от 1 до 30 кадров в зависимости от количе-

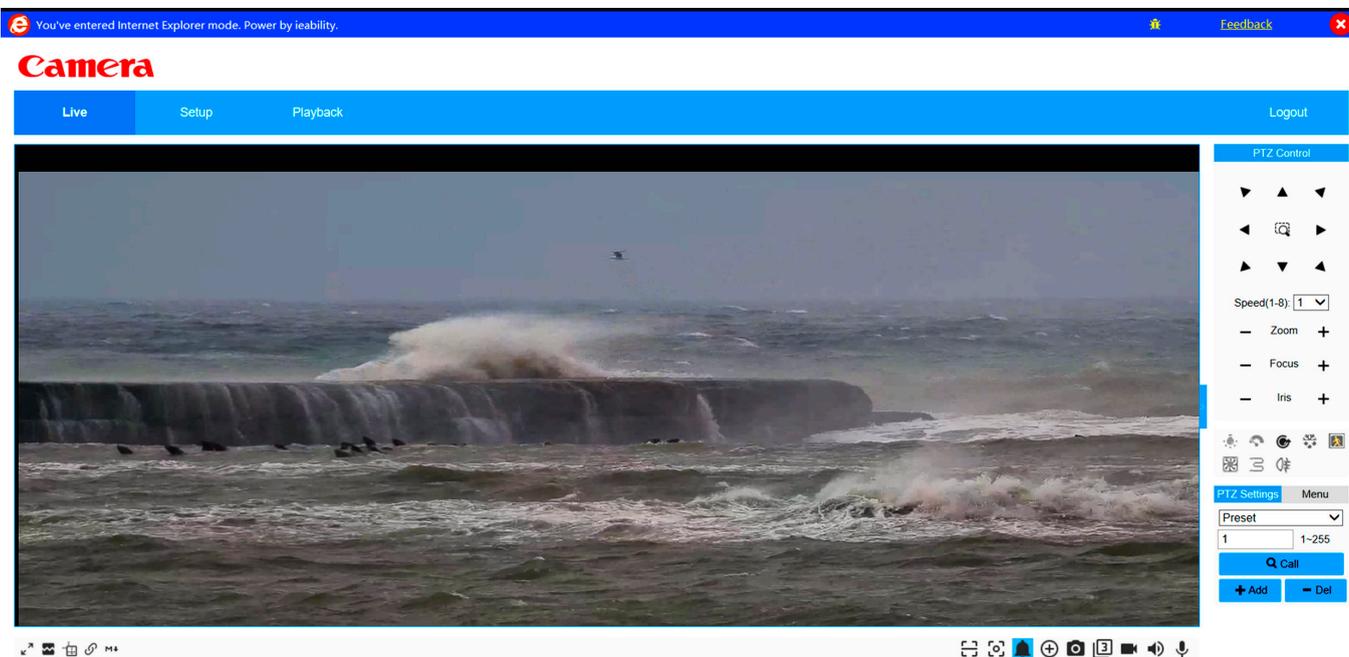


Рис. 1. Интерфейс веб-камеры, используемый при наблюдениях. На данном снимке шторм и сильный заплеск волны на волнолом. Сивучи сошли в воду

ства залегающих зверей и занимаемой ими площади волнолома (рис. 2).

Небольшая высота расположения камеры и невысокое разрешение матрицы камеры не позволили получать изображения высокого качества. Поэтому численность зверей, определенная с помощью камеры, получалась явно заниженной. Мы применяли этот метод учета сивуча для того, чтобы выявить зависимость между численностью животных, учитываемых с помощью веб-камеры, и численностью, которую мы определяли на аэрофотоснимках, что позволило нам рассчитывать численность сивучей в те дни, когда полетов не было. С помощью этого метода были собраны сведения о численности животных за 25 дней, с 2 по 29 апреля. Общая продолжительность видеозаписи сигнала составила 77 часов (в среднем 3 часа в сутки).

Подсчет и регистрация меченых и травмированных зверей производились на всех полученных фотографиях за день с помощью видео, аэрофотосъемки или визуальных наблюдений. Регистрации заполнялись в программах «PhotoCount» 3 и 4 версий.

Визуально наблюдали поведение зверей в ответ на факторы беспокойства и внутривидовые взаимоотношения, а также погодные условия: видимость (более 500, 500–100, менее 100 м), наличие осадков, облачность, сила и направление ветра (м/с), волнение моря по шкале Бофорта, заплеск волн на волнолом (0 – нет, 1 – слабое, 2 – среднее, 3 – сильное). Общая продолжительность прямых наблюдений за сивучами на волноломе составила 47 часов 30 минут или в среднем 2 часа в день. При визуальных наблюдениях применялся бинокль «Nikon Monarch» 10x42.

Визуальные наблюдения проводили с трех точек на берегу, с которых обзор волнолома и лежбища был лучшим.

Особенности расположения животных на волноломе и поведение фиксировали с помощью фотоаппарата «Canon EOS 7D» с объективом «Tamron 100-400 мм», максимальное разрешение 5184 × 3456 пикселей. Выполнялась серия последовательных снимков всего волнолома с разных точек наблюдений. В дальнейшем эти фотографии использовали для уточнения пола и возраста зверей, а также идентификации тавренных, травмированных и приметных животных. Дополнительно было совершено два выхода к волнолому на лодке с туристами на борту общей продолжительностью 2 часа.

Внутривидовое поведение наблюдали на участке волнолома от бетонной стены на юге, до первых разрушенных плит. Длина участка около 89 м, площадь 1172, 2 м<sup>2</sup> – 43,5% всей используемой сивучами части волнолома. Участок выбран, поскольку хорошо просматривается с обеих сторон. На нем залежали все половозрастные группы. Мы отмечали только активные взаимодействия: агрессия, занятие территории, спаривания, роды, имитация гаремного поведения. Отдых и сон зверей не отмечался.

Распределение сивучей по волнолому изучали при объединении фотографий с дрона за один полет с помощью компьютерной программы «AgisoftPhoto Scan Professional». Статистический анализ количественных данных и графическую визуализацию результатов проводили в программе «MS Excel» и среде программирования «R».



Рис. 2. Стоп-кадр участка волнолома, используемый для подсчета животных

Шкала оценки уровня беспокойства по балльной системе

Уровень беспокойства (баллы)	Степень беспокойства	Поведение животных	Последствия беспокойства
0	Нет	Нет реакции	Отсутствуют
1	Слабое	Оценка источника беспокойства, слабая и короткая вокализация отдельных животных	Отсутствуют или незначительные: часть зверей подняли головы, оставаясь на месте без перемещений
2	Среднее	Оценка беспокойства, активная вокализация, звери встают и оценивают реакцию сородичей, поворачиваясь на месте, молодые звери, оглядываясь, направляются к воде	Длительное нарушение покоя, незначительные перемещения по волнолому от объекта беспокойства, сход единичных молодых особей в воду
3	Сильное	Звери резко поднимаются с места, активная вокализация, бегство или постепенный сход в воду	Значительные: меняется распределение зверей на лежбище; отдельные особи или группы перемещаются к краю лежбища или сходят в воду
4	Очень сильное	Звери беспорядочно и массово в панике покидают лежбище, создавая давку	Массовый сход большого числа животных или всего лежбища, давка, возможны травмирования и гибель молодых особей

Одной из важнейших поведенческих реакций животных на взаимодействие с человеком является беспокойство. При оценке уровня беспокойства мы основывались на реакциях животных, которые легко идентифицировать у отдельных животных или групп. Выделяли такие реакции зверей, как поднятие головы, рев, спокойное перемещение, бегство и паника. Вначале определяли, откуда исходит источник беспокойства животных (воздух, суша, вода), и его характер, чем оно вызвано (катер, человек, собака, вертолет и т. д.). Было выделено три диапазона расстояний, на которых звери реагировали на фактор беспокойства: <50 м, 50–200 и >200 м. При появлении фактора беспокойства регистрировали изменение поведения сивучей как непосредственно в месте их взаимодействия с фактором беспокойства, так и по всему лежбищу. Интенсивность беспокойства оценивали по четырехбалльной шкале от 0 до 4, указывая максимальный балл по окончании действия источника беспокойства (табл. 1).

При взаимодействии зверей одновременно с несколькими источниками беспокойства каждый из них оценивался обособленно.

Отмечали реакцию людей или их осознанные действия, когда они явно видели реакцию сивучей на свое вторжение к лежбищу (прекратили/продолжают

приближаться или беспокоить животных). Отмечали восстановление лежбища к прежнему состоянию по завершению беспокойства. Полное восстановление отмечалось, если звери вернулись к исходному поведению, и волнолом вновь заполнился в месте сгона. Было невозможно достоверно определить время восстановления по каждому отдельному беспокойству, поскольку последствия накладывались друг на друга. Поэтому оценивали общее восстановление лежбища в конце дня от всех случаев беспокойства, которое мы наблюдали за день.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Особенности распределения сивучей по волнолому и особенности поведения

Животные выходили из воды на северную оконечность или в центр волнолома в местах, где плиты находятся ниже его основного уровня (рис. 3).

Наличие такой ступени значительно облегчает выход животных на лежбище, но во время шторма и высокой зыби данные плиты заплескиваются и даже перемываются волнами. В таких условиях ими продолжают пользоваться в основном активные молодые особи.

Звери, поднявшись на волнолом, переходили на широкую северную часть. На начальной стадии образования залежки тюлени располагались разреженно, но не далеко друг от друга. Вновь приходящие звери занимали промежутки между ними, и только по заполнению северной широкой части волнолома лежбище начинало расти в южном направлении. Близко к бетонному заградительному щиту звери приближались только при максимальной плотности залегания на остальной части. Как правило, это были молодые самцы.

Секачи в некоторых случаях удерживали вокруг себя небольшое пространство, которое можно назвать индивидуальной территорией. Самки располагались широко по всему волнолому. Распределение животных на заполненном волноломе имеет ряд особенностей (табл. 2).

В частности, самки предпочитают ровные участки на высоких и узких плитах; молодые и полусекачи преобладают на низинных участках и в южной части; секачи используют низкие и высокие участки, стараясь избегать южной части волнолома.

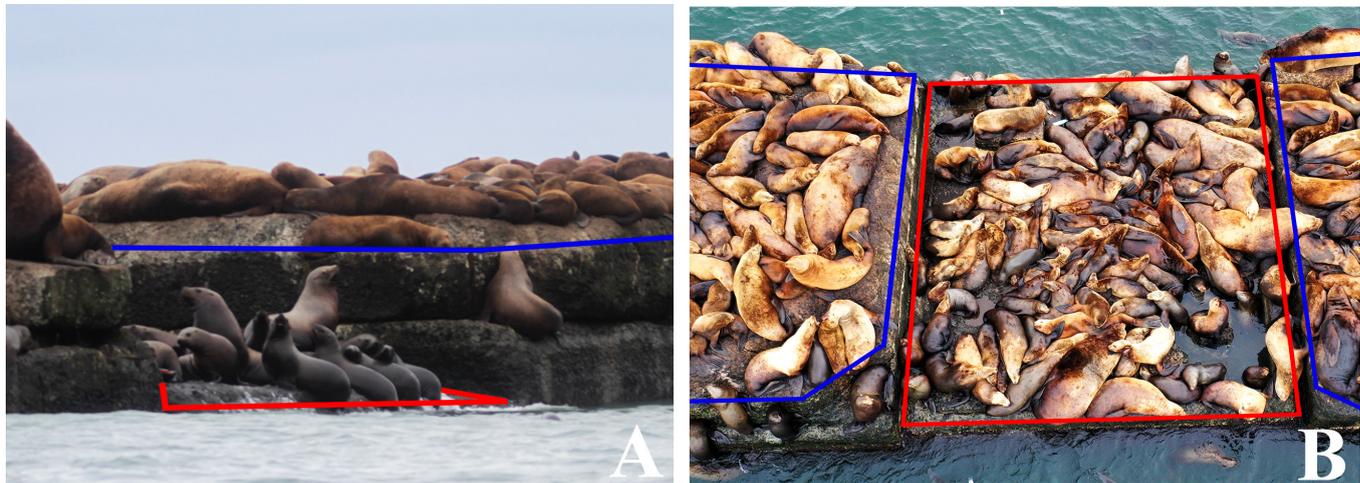
При большой плотности зверей на волноломе прибывающие сивучи образуют скопления от десятка до нескольких сотен особей разного пола и возраста

(рис. 4). Они долго находятся в воде, высматривая свободное место, и с подходом волны стараются выскочить на лежбище.

Такие группы образовывались на удалении 200–400 м с разных сторон от волнолома. Между волноломом и скоплениями постоянно происходит обмен особями. Одновременно отмечали до трех крупных скоплений на воде.

За период с 15 по 20 апреля наблюдали четыре случая преждевременных родов (абортов). После абортот самки отгоняли других сивучей от трупа щенка на расстояние 1,5–2 м и охраняли его, проявляя агрессию к животным, которые приближались к трупу. В двух случаях самки покинули труп своего щенка на третий день. Одного мертвого детеныша самка охраняла до конца наших наблюдений в течение 6 дней, при этом на второй день перенесла его на расстояние 190 м с южного на северный конец волнолома. Труп четвертого щенка обнаружили на берегу. Три абортированных щенка на волноломе были самками, а щенок, обнаруженный на берегу, – самец.

18 апреля наблюдали спаривание самца 7 лет (тавро «Г 845») с самкой (рис. 5). Других случаев или попыток спаривания не отмечали.



**Рис. 3.** Красная линия – участки низких плит; синяя линия – участки высоких плит. А – вид на волнолом сбоку; В – вид на волнолом сверху. (Фото: Е.С. Васюкова)

Табл. 2

**Расположение сивучей на разных участках волнолома по половозрастным категориям за 25.04.2024**

Участок	Молодые		Взрослые самцы		Полусекачи		Самки	
	%	Число	%	Число	%	Число	%	Число
Высокие плиты	31,2	415	1,4	19	15,0	200	52,4	698
Низкие плиты	42,6	239	2,7	15	25,1	141	29,6	166
Узкие, южные плиты	21,0	128	0,5	3	21,3	130	57,2	349



**Рис. 4.** Скопление сивучей в воде вблизи волнолома

При сильном волнении моря и заплеске волн на значительную часть волнолома большинство сивучей уходило в воду. Оставшиеся располагались на волноломе разрежено, нередко смещаясь к более защищенному от волн краю в его южной половине. Секачи иногда оставались на волноломе даже при сильном шторме, сопротивляясь волнам.

Все половозрастные категории животных имеют высокую толерантность друг к другу при отдыхе на лежбище в нерепродуктивный сезон. Несмотря на ограниченную площадь залегания при полном заполнении волнолома значительных конфликтов между животными не фиксировали. Все агрессивные действия ограничивались лишь демонстрационными позами. При попытках залечь на участке, где места было недостаточно, животное, не проявляя агрессии, проходило по волнолому на свободное место.

Берег за пределами волнолома сивучи практически не используют. Был зафиксирован лишь один выход двух молодых самцов на удалении 50 м от лежбища в бухте во время отлива восточнее волнолома.

### Численность

Максимальная численность сивучей на волноломе наблюдалась в утренние часы (табл. 3). Поэтому для анализа численности животных на лежбище в апреле использовали результаты утренних учетов. Исключением были два дня (14 и 22 апреля), когда фотосъемки лежбища для подсчета зверей проводились только вечером (табл. 3). Учет животных в крупных скоплениях на воде нам удалось провести лишь трижды (табл. 3).

Численность сивучей на волноломе по данным съемки с БПЛА по половозрастным категориям (табл. 4).

На лежбище преобладали самки и молодые сивучи. Их доли составляли 53,9 и 36,3% соответственно. Полусекачи составили 8,0%, секачи – около 1,8%. Максимальным число животных было 25 апреля – 2799 особи (2640 сивуча на волноломе + 159 сивучей в скоплениях на воде), из них 1381 самка, 1138 молодых, 157 полусекачей, 26 секачей. У 97 сивучей пол и возраст установить не удалось. Максимальная численность самок и молодых пришлась на 25 апреля, а самцов – на 14 апреля: 252 полусекача и 70 взрослых самцов (табл. 3).

В целом численность сивучей на лежбище в начале и в конце наблюдений была примерно на одном уровне: 14 апреля там залегало 2355, а 25 апреля – 2640 особей (рис. 6). В то же время 14 апреля на момент учета в воде находились два крупных скопления животных, каждое из которых мы оцениваем в 250–300 особей (визуально). Поэтому в этот день общую численность можно оценить примерно в 2600 животных. Между двумя максимальными значениями численности наблюдалось снижение числа животных на волноломе, средняя численность животных на волноломе составляла  $1791 \pm 314$  особей (рис. 6).

Резкие снижения численности в середине наших наблюдений, возможно, связаны с сильным беспокойством животных людьми, погодными условиями и особенностями их питания в море. Так 22 апреля общая численность сивучей составила 1177 особей, что связано со сходом животных на дальнем конце волнолома в воду из-за работающего на берегу трактора. Мы



**Рис. 5.** Спаривание на волноломе 18 апреля 2024 года (фото А.Д. Кирилловой)

Табл. 3

**Численность сивучей на волноломе по данным съемки с БПЛА по половозрастным категориям**

Дата	Время	Секачи	Полусекачи	Самки	Молодые	Неизвестные	Всего	Скопления на воде
14.04	17:27	70	252	1294	658	81	2355	2 крупных скопления
15.04	12:13	57	105	1329	687	115	2293	Небольшие скопления
16.04	11:46	35	189	916	420	133	1693	≈100 шт.
17.04	10:47	20	122	1113	453	134	1842	2 скопления.
18.04	10:23	41	207	1129	618	83	2078	Нет
18.04	18:33	37	202	835	735	36	1845	Нет
19.04	10:40	35	219	853	749	18	1874	Нет
20.04	11:12	26	148	604	718	6	1502	Нет
21.04	09:22	33	138	776	736	16	1699	Нет
21.04	18:17	26	77	754	619	30	1506	Нет
22.04	19:10	16	47	480	421	213	1177	Нет
23.04	10:53	31	100	1097	749	67	2044	Несколько десятков особей
23.04	13:37	22	72	970	636	80	1780	Нет
23.04	19:20	25	115	1087	657	74	1958	Нет
24.04	11:09	20	84	919	554	137	1714	1 скопление
24.04	15:43	15	56	700	488	10	1269	Нет
24.04	18:28	29	86	1000	762	55	1932	Нет
25.04	15:43	26	155	1340	1078	41	2640	2 скопления

Табл. 4

**Численность сивучей в скоплениях на воде по данным учета с БПЛА по половозрастным категориям**

Дата	Секачи	Полусекачи	Самки	Молодые	Неизвестно	Всего
17.04	2	2	153	56	32	245
24.04	0	8	35	12	18	73
25.04	0	2	41	60	56	159

отмечали уменьшение числа сивучей на лежбище в ясные, теплые, маловетренные дни. Например, 16 апреля температура воздуха поднялась до 17 °С, 24 апреля температура воздуха была 9 °С.

Поскольку на лежбище преобладают самки, их численность в период наблюдений определяла общую динамику численности сивучей. Численность молодых особей значительно колебалась и в среднем составляла  $653 \pm 184$  особи, но 25 апреля их число резко возросло до 1078 особей. Число взрослых самцов на лежбище постепенно снижалось с 70 в начале наблюдений до 26 в конце, что объясняется уходом секачей на репродуктивные лежбища. Число полусекачей снизилась с 20 апреля с  $182 \pm 57$  до  $112 \pm 42$  особей ( $t(10) = 2,4, p = 0,04, d'C = 1,4$ ). 25 апреля численность полусекачей оставила 155 особей (табл. 4). Средняя численность самок до 18 апреля составляла  $1156 \pm 165$  особей, далее она снизилась до  $867 \pm 290$  ( $t(10) = 2,2, p = 0,05, d'C = 1,2$ ), однако 25 апреля их численность увеличилась до 1340 особей. Такие заметные изменения в половозрастной структуре животных на лежбище указывают на высокую ее динамичность, которая вероятно связана с миграциями животных вдоль побережья и условиями их питания в море.

Данные о численности сивучей в зависимости от состояния моря, полученные с помощью веб-камеры, представлены на рис. 7.

Численность изменялась от 452 до 923 особей со значительными падениями до 40 особей 7 апреля и 279 особей 12 апреля. Это связано со штормовой погодой. Однако корреляция между силой заплеска и численностью зверей на лежбище невысокая ( $r = -0,59, p = 0,002$ ), то есть заплеск не оказывает большого

влияния на численность и действует в совокупности с другими факторами, такими как беспокойство.

Мы сравнили результаты учета с веб-камеры и БПЛА. Для этого мы отобрали данные учетов с минимальным различием во времени их проведения. Линейная регрессионная модель показала, что данные, полученные с веб-камеры, были в 3,1 меньше, чем данные с БПЛА ( $y = -65,97 + 3,11x$ , где  $y$  – ожидаемая численность;  $x$  – число сивучей, определенное с помощью веб-камеры ( $R^2 = 0,80, p = 5e-05, n = 12$ ) (рис. 8).

### Регистрация меченых животных

Всего за время наблюдений на лежбище было встречено 206 тавренных сивучей. По своему месту рождения это были животные со всех репродуктивных лежбищ Курильских островов (Анциферова, Ловушки, Райкоке, Брат Чирпов, Среднева) и Охотского моря (Тюлений, Ямские, Ионы). Наибольшее число сивучей было отмечено с лежбищ Охотского моря – 178 животных (86,4%), среди них на первом месте о. Тюлений – 130 животных (63,1%), на втором – о. Ионы – 41 животное (19,9%), с Ямских островов зарегистрировано 7 животных (3,4%) (табл. 5). С Курильских островов было обнаружено лишь 28 сивучей (13,6%), среди них 17 (8,2%) животных с о. Брат Чирпов, 4 (1,9%), скалы Ловушки, 4 (1,9%) с о. Среднева, 2 (1,0%) с о. Анциферова и 1 (0,5%) животное с о. Райкоке.

Среди меченых животных преобладали самки – 70,4% (145 особей). Из них две кормили молодых зверей возраста 1–3 года. Пять самок имели явно зависимых молодых животных, кормление которых мы не наблюдали. Меченые самцы составили 29,6% (61 особь) от общего числа меченых сивучей. В основ-

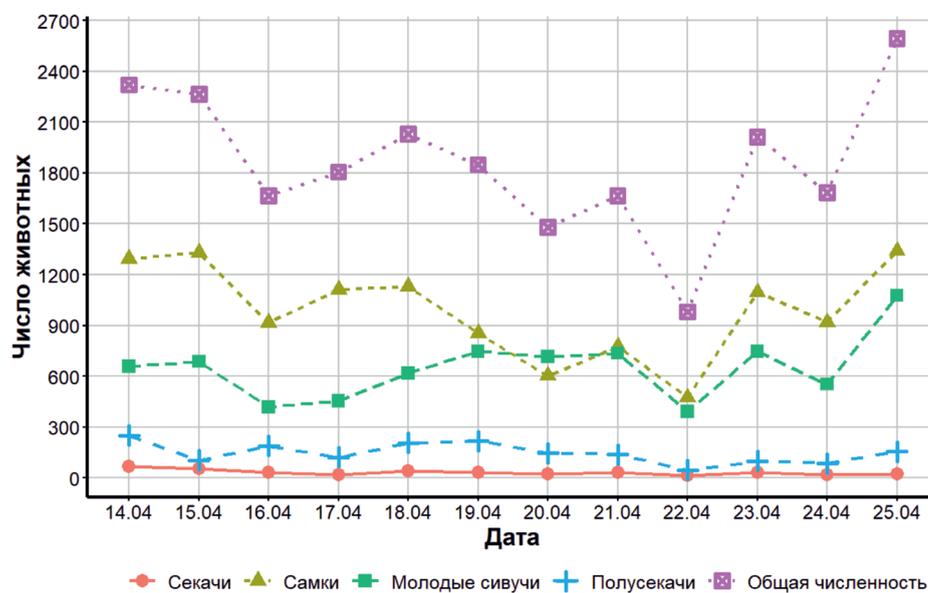
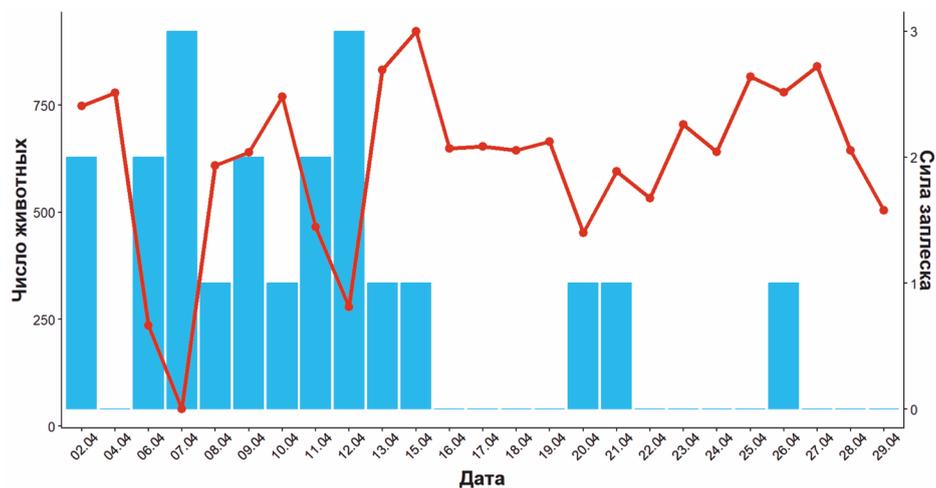
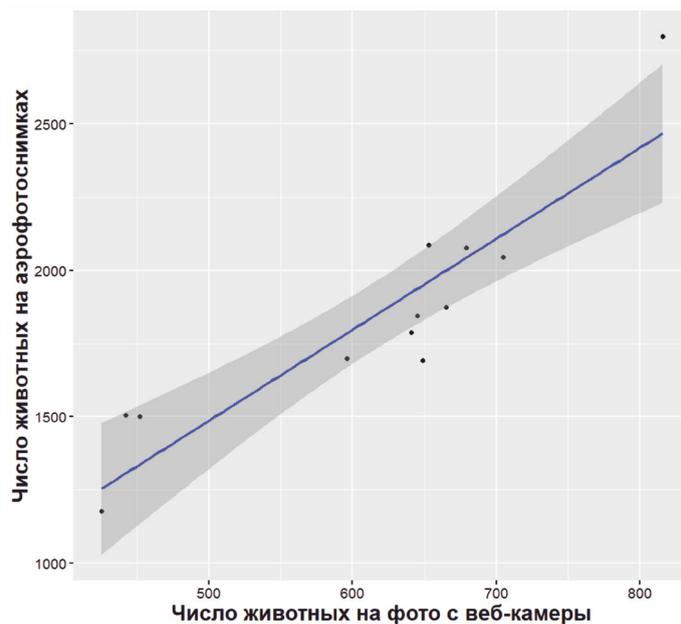


Рис. 6. Численность сивучей на волноломе с 14 по 25 апреля 2024 года по результатам подсчета на аэрофотоснимках



**Рис. 7.** Общая численность сивучей в зависимости от состояния моря (столбики – сила заплеска волн на волноломе в баллах) по данным, полученным с помощью веб-камеры



**Рис. 8.** График линейной регрессии результатов учета по фотографиям с БПЛА и веб-камеры с 95% доверительным интервалом

Табл. 5

Места рождения меченых сивучей, отмеченных на волноломе в апреле 2024 года

Репродуктивное лежбище	Число тавренных сивучей	Доля общего числа встреченных тавренных сивучей (%)
Курильские острова		
о. Анциферова	2	1,0
ск. Ловушки	4	1,9
о. Райкоке	1	0,5
о. Брат Чирпоев	17	8,3
о. Среднева	4	2,0
Острова Охотского моря		
о. Тюлений (Сахалин)	130	63,1
Ямские острова	7	3,4
о. Ионы	41	20,0
Итого:	206	100,0

ном они были представлены полусекачами (46 особей или 75,4% численности самцов), доля взрослых самцов составила 24,6% (15 особей) (табл. 6). Меченых молодых сивучей (возраст 1–3 года) не отмечали, поскольку последнее мечение тюлений в водах России проводилось в 2020 году. На момент проведения исследования возраст этих животных составил 4 года. Таким образом на лежбище среди меченых зверей преобладали самки, как и на лежбище в целом.

Ежедневно отмечались новые, ранее незарегистрированные животные, что указывает на большую ротацию сивучей в данном районе. До начала использования БПЛА было зарегистрировано 49 меченых сивучей. Остальные 157 животных были найдены на аэрофотоснимках. С 14 по 18 апреля число новых регистраций меченых составляло 12–26 животных в день, далее число снизилось до 5–7 и снова выросло 21, 23 апреля до 14–20 особей. Число последних регистраций с 14 по 21 апреля оставляло 5–14, однако 21 апреля оно составило 31 (рис. 9).

### Антропогенные факторы беспокойства

Мы наблюдали 93 случая беспокойства сивучей. Из них непосредственно на волноломе 87 (93,5%) и в воде у волнолома 6 (6,5%) (табл. 7).

Источники беспокойства с воды: отмечено 47 случаев беспокойства сивучей, когда источником беспокойства были суда или лодки. На дистанции свыше 200 м от волнолома проходили транспортные, рыболовные и иные суда, которые только один раз вызвали легкое беспокойство в виде поднятия голов у десятка зверей. Экскурсии, представленные малыми моторными катерами и лодками, оказывали значительное воздействие на расстоянии менее 50 м. Реакции не было, если судно подходило на малом ходу (8 случаев). В большинстве случаев реакция зверей кратковременная и ограничивается поднятием голов, единичным ревом и небольшими перемещениями. Однако 6 раз быстрый подход катера вызывал массовое беспокойство и 1 раз – беспорядочную панику.

Источники беспокойства с суши: отмечено 19 случаев. При открытом, медленном приближении людей к волнолому сивучи не реагировали на любой дистанции. Значительное беспокойство происходило либо по причине сильных запахов, переносимых ветром, таких как запах солянки от техники, курения. Или при быстром подходе человека к волнолому.

Беспокойство с воздуха: 20 случаев полета над лежбищем БПЛА на высоте 10–15 м. Только в одном случае группа молодых сивучей отбежала от дрона, который совершил резкий маневр, в остальных случаях максимальная реакция – это единичное поднятие голов. 13 апреля на расстоянии 200–300 м от лежбища

на низкой высоте пролетел гражданский вертолет, но никакой реакции у зверей пролет не вызвал.

Из всех 93 беспокойств намеренными были 80. То есть когда человек своими действиями сознательно шел на контакт с сивучами и мог предвидеть последствия. Однако только в 5 случаях люди на суше прекратили беспокойство, видя реакцию зверей.

### Травмирование при залегании на волноломе

В ходе визуальных наблюдений 12 апреля мы обнаружили молодого сивуча, висящего вниз головой на внутренней стороне волнолома. Вероятно, он пытался прыгнуть с лежбища в воду, но зацепился животом за острую стальную арматуру. С приливом зверь самостоятельно смог соскочить со штыря, а нам удалось рассмотреть рану.

Анализируя полученные фотографии, мы обнаружили 36 особей с подобными ранами на брюшной стороне тела. Раны располагались преимущественно на животе и груди, редко на внутренней части ласт. В 22 случаях это были взрослые самки, в 12 случаях – молодые звери и в двух – полусекачи. У двух зверей раны сильно кровоточили (рис. 10). 19 апреля обнаружили неподвижного молодого сивуча на волноломе с подобной раной на животе, который не подавал признаков жизни. Полагаем, что он погиб именно от подобного ранения. Вероятно, травмы и даже гибель сивучей об оголившуюся арматуру происходят на этом лежбище регулярно.

### Обсуждение

Волнолом в Невельске – самое крупное из известных лежбищ сивуча в непосредственной близости к активной деятельности человека. Однако существуют и другие сезонные лежбища сивуча в черте населенных пунктов. Второе по величине – в порту г. Петропавловска-Камчатского, а также гораздо меньшие и малоизвестные в г. Северо-Курильске, в п. Крабозаводском и п. Южно-Курильске [1, 4]. В США в портах залегки на пирсах и морских буях наблюдаются в районе залива Хуан-де-Фука, Пьюджет-Саунд и канал-Худ внутренних вод штата Вашингтон [15, 18], а также на плавучих понтонах в Гавани Сент-Германс-Бей на о. Кодиак [17]. В Японии в заливе Исикари вблизи города Отару сивучи соперничают с рыбаками за нерестовую сельдь и также используют волнолом для отдыха [12].

Опасность для животных на таком лежбище заключается в том, что объекты портовой инфраструктуры не рассчитаны на пребывание на них животных. Воды портов зачастую загрязнены и наполнены опасными для животных предметами, обрывками орудий лова, нефтепродуктами и пр. Возрастает риск травмирования и даже гибели ластоногих от работающих в порту

Табл. 6

Репродуктивный статус меченых сивучей

Репродуктивное лежбище	Половозрастные группы					Всего
	AF*	NJ	WJ	OM	SA	
Курильские острова						
о. Анциферова	2	–	–	–	–	2
о. Брат Чирпоев	10	–	–	2	5	17
о. Среднева	3	–	–	–	1	4
ск. Ловушки	1	–	–	–	3	4
о. Райкоке	1	–	–	–	–	1
Острова Охотского моря						
о. Тюлений (Сахалин)	81	–	1	12	36	130
о. Ионы	32	2	4	1	1	41
Ямские острова	7	–	–	–	–	7
	138	2	5	15	46	206

\* AF – взрослые самки, NJ – самки кормящие молодого (возраст 1–3 года), WJ – самки с молодыми, OM – секачи (возраст 8+ лет), SA – полусекачи (самцы в возрасте 4–7 лет).

Табл. 7

Реакция сивучей на беспокойства с суши, воды и воздуха на различных дистанциях

Интенсивность беспокойства	Дистанция до источника беспокойства (м)								
	Вода			Суша			Воздух		
	0–50	50–200	200–500	0–50	50–200	200–500	0–50	50–200	200–500
Нет реакции	8	1	7	3	3	2	14	0	2
Слабая	17	2	1	0	0	0	5	0	0
Средняя	9	1	0	0	1	0	0	0	0
Сильная	6	0	0	0	4	4	0	0	0
Очень сильная	1	0	0	1	0	1	0	0	0
Всего	41	4	8	4	8	7	19	0	2

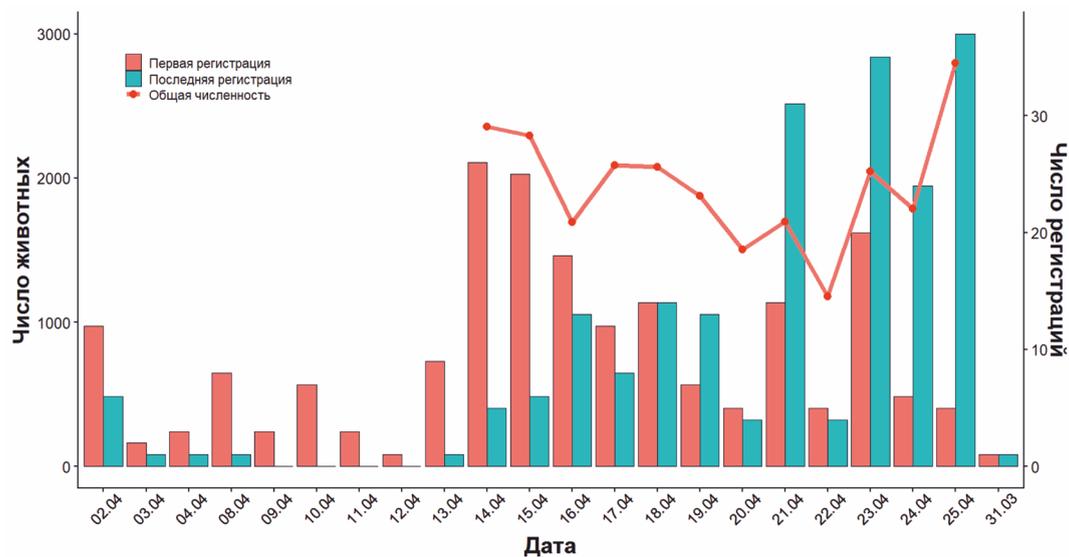


Рис. 9. Регистрации первой и последней встреч меченых сивучей на лежбище с изменением общей численности во время полевых наблюдений

судов. При этом часто для лежбища тюлени выбирают заброшенные и неиспользуемые причалы, находящиеся в аварийном состоянии и поэтому являющиеся крайне травмоопасными для животных. Не менее опасно и привыкание тюленей к искусственной подкормке, так как животные начинают воспринимать человека и все, что с ним связано, как источник пищи. Страх перед человеком исчезает, они становятся навязчивыми и часто оказываются в опасной близости от работающих судов, орудий лова рыбы и других механизмов. В поисках пищи звери идут на прямой контакт с человеком, резко увеличивая вероятность инфицирования опасными бактериями и вирусами, не характерными для диких животных. Однако в Невельске сивучи не кормятся при сдаче рыбы, как, например, в Петропавловске-Камчатском и других местах.

Волнолом сильно выдается от линии берега и практически не соединен с сушей, имеет твердый субстрат. Такие места часто используются сивучами для лежбищ [10]. Также он расположен между крупными лежбищами на островах Тюлений, Ионы, Монерон, что делает его удобным местом для отдыха на путях сезонных и пищевых миграций. Именно этим можно объяснить высокую численность сивуча на этом лежбище в весенний период. Сведения о весеннем рационе сивуча в этом районе отсутствуют, однако для Татарского пролива (западно-сахалинской подзоны) в апреле характерно увеличение биомассы рыбы на небольших глубинах. В диапазоне изобат 20–50 м преобладают не глубоководные камбалы (44% общей биомассы). На глубине 50–100 м преобладала (44,6%) сельдь сахалино-хоккайдской популяции, образующая преднерестовые скопления вблизи берега. Такое распределение нерестовой сельди обусловлено более ранним прогревом вод на глубинах 100–200 м [5, 6]. Учитывая, что сивуч в основном погружается за добычей на глубину менее 200 м [16], мы предполагаем, что, вероятно, именно массовый подход нерестовой сельди может быть одной из причин прихода сивучей в Невельск в апреле.

Состав животных на лежбище не постоянен. После 20 апреля часть животных покинула лежбище, отпра-

вившись на поиски пищи или на места размножения, а на их место пришли для отдыха другие животные, питавшиеся в этом районе Японского моря или мигрирующие вдоль западного берега Сахалина. Также увеличивается число молодых меченых, не участвующих в размножении.

Полученные данные об антропогенном воздействии (подходы людей к лежбищу и туристов на мелких судах, проходы крупных судов вблизи от северного конца лежбища, работы на побережье у лежбища и др.) не позволяют сделать заключение о том, насколько негативно она влияет на животных. Аварийное состояние волнолома создает серьезную угрозу для обитания на нем сивучей. Мы установили, что животные часто и очень серьезно травмируются о выступающие из полуразрушенных бетонных плит острые концы стальной арматуры. Глубокие колотые раны от нее могут быть не заметны на теле животных, но могут быть смертельными в случае повреждения внутренних органов. Поскольку животные лежат на лежбище чаще всего животом вниз и не видны на фотографиях, подобные травмы могут встречаться гораздо чаще, чем мы установили. Места с арматурой зачастую находятся на выступах, по которым сивучи забираются на волнолом или соскальзывают в воду. Подобные раны могут быть общей проблемой для всех мест, где сивучи используют портовые бетонные сооружения, которые не проходят регулярное обслуживание. При панике во время давки часто страдают и даже гибнут молодые особи. Длительное беспокойство от человека приводит к стрессу, изменению гормонального фона, в том числе увеличению кортизола [13]. Уменьшается время отдыха и увеличивается расход энергии и уровень агрессии [11]. В целом такие изменения свойственны многим видам [19, 20] и способны значительно влиять на репродуктивный успех и замедлять темпы роста численности [14].

Повлияло ли беспокойство на абортацию четырех самок, трупы щенков которых мы обнаружили в апреле на волноломе, – не известно.

К сожалению, мы не можем достоверно сказать, в каком состоянии находится лежбище в данный мо-



**Рис. 10.** Травмы у сивучей от стальной арматуры. **А** – характерные раны на брюшной части; **В** – обильное кровотечение в области брюшины; **С** – мертвый сивуч с колотой раной (фото Е.С. Васюкова)

мент времени, ориентируясь только на полученные нами результаты. Основные показатели, указывающие на благополучие не репродуктивного лежбища, – это численность и половозрастной состав. Наличие большого числа самок и молодых зверей, случаи кормления указывают на достаточный уровень комфортности, поскольку самки и молодые наиболее подвержены стрессу от внешних воздействий. В изученной нами литературе из весьма разрозненных данных [7, 8] следует, что в осенне-зимний период число сивучей варьируется от 2–3 до 160 особей. Весной – до 700 особей. Летом в июне – 400 зверей, а уже в июле они не встречаются [2, 3]. Сказать о какой-то динамике как по годам, так и в течение отдельного сезона по этим данным нельзя, так как в год проводился в лучшем случае один учет. В 2004 году отмечены большая численность молодых зверей и присутствие секачей, но более подробной информации нет. Получается, что максимальное число сивучей на волноломе было зафиксировано 21 апреля 2000 года и составило 700 особей. Если это так, по нашим данным за апрель численность на волноломе к 2024 году выросла более чем в 3,7 раза.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Волнолом Невельского порта расположен на путях нагульных миграций сивуча, защищен от наземных хищников и имеет большую ровную площадь для залегания и отдыха животных. Волнолом используют для отдыха сивучи с восьми лежбищ Дальнего Востока. Преобладающими среди них являются звери с островов Тюлений и Ионы. Наблюдается систематическое беспокойство животных человеком. Высокая численность в апреле, вероятно, обусловлена наличием благоприятной кормовой базы для этого вида, в первую очередь подходом к побережью нерестовой сельди. Залегка сивучей на волноломе представлена всеми половозрастными группами животных, случаи спаривания единичны и не сопровождаются территориальным поведением самцов. У самок наблюдаются единичные выкидыши мертворожденных щенков, что нередко наблюдается и на других лежбищах в это время. Поведение сивучей характеризуется низким уровнем агрессии и высокой толерантностью друг к

другу даже среди секачей, что характерно для нерепродуктивного сезона. Наши данные не позволяют сделать обоснованное заключение о том, насколько серьезна опасность современного уровня беспокойства для группировки сивуча, использующей волнолом для отдыха. В то же время совершенно недопустим намеренный сгон зверей в воду из-за высокой вероятности летального травмирования зверей выступающими из бетона острыми концами стальной арматуры. Для предупреждения травмирования животных необходим регулярный ежегодный осмотр волнолома для обрезки острых концов арматуры по всему волнолому в сезоны, когда сивучи не используют лежбище или их численность не высока. В связи с тем, что лежбище используется значительным количеством зверей с обширной части ареала сивуча Дальнего Востока, в том числе многочисленными самками и молодыми особями, нужны специальные меры охраны и регулярный мониторинг.

Аэрофотосъемка, выполняемая одновременно с визуальными наблюдениями, весьма информативна для исследования лежбища с большой плотностью животных. Однако погодные условия ограничивают ее ежедневное использование. Стационарная управляемая веб-камера всепогодная и позволяет оценить приблизительную численность животных, однако качество съемки и расположение камеры не позволяет получать полные данные по меченым и травмированным сивучам.

***Благодарности.** Результаты исследований, представленные в настоящей публикации, получены в рамках государственного задания Минобрнауки России (FZSS-2025-0006), реализуемой ФГБОУ ВО «КамГУ им. Витуса Беринга», частично по теме государственного задания КФ ТИГ ДВО РАН «Структурно-функциональная организация, динамика и продуктивность наземных и прибрежных экосистем на Дальнем Востоке РФ. Разработка научных основ и экономических инструментов устойчивого природопользования» (№ ЕГИСУ 124012700496-4).*

*Выражаем благодарность Пьянникову А.С. за предоставление доступа к веб-камере. Егурновой О.А. – за помощь в работе с архивом библиотеки.*

### Литература

#### Список русскоязычной литературы

1. Бородавкина МВ, Бобырь ИГ, Карпенко СЕ. Зимующие сивучи (*Eumetopias jubatus*) у островов Кунашир и Шикотан. В кн.: Сборник научных трудов по материалам IX международной научной конференции «Морские млекопитающие Голарктики». Астрахань-Москва; 2018; С. 90-4.
2. Бурканов ВН, Эндрюс РД, Хаттори К, Исоно Т, Третьяков АВ. Краткие результаты учета сивуча (*Eumetopias jubatus*) в северной части Охотского моря и у побережья о. Сахалин в

2011. В кн.: Сборник научных трудов по материалам международной научной конференции «Морские млекопитающие Голарктики» 24–28 сентября 2012. Суздаль-Москва; 2012. С. 134-9.
3. Бурканов ВН и др. Краткие результаты обследования лежбищ сивуча (*Eumetopias jubatus*) в северной части Охотского моря и у побережья о-ва Сахалин в 2013. В кн.: Сборник научных трудов по материалам VI международной научной конференции «Морские млекопитающие Голарктики» 22–27 сентября 2014. Санкт-Петербург-Москва; 2015; 108-12.
  4. Вертянкин ВВ, Никулин ВС. 2005. Залежка сивучей (*Eumetopias jubatus*) в черте города Петропавловска-Камчатского. В кн.: Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. Петропавловск-Камчатский: КФ ТИГ ДВО РАН; 2004. С. 23-9.
  5. Ившина ЭР. Распределение нерестилищ тихоокеанской сельди сахалино-хоккайдской и декастринской популяций у западного побережья о. Сахалин (Японское море). Вопросы рыболовства. 2022;23(2):201-15.
  6. Калчугин ПВ, Бойко МИ, Соломатов СФ, Черниенко ЭП. Современное состояние ресурсов донных и придонных видов рыб в российских водах Японского моря. Известия ТИНРО. 2016;184:54-69.
  7. Косыгин ГМ, Трухин АМ, Бурканов ВН, Махнырь АИ. Лежбища ларги на берегах Охотского моря. НИР по морским млекопитающим северной части Тихого океана в 1984/85 г. 1986. С. 60-70.
  8. Чупахина ТИ, Пантелеева ОИ, Бурканов ВН. 2004. Распространение и численность сивуча (*Eumetopias jubatus*) на лежбищах о. Сахалин. В кн.: Сборник научных трудов по материалам III международной конференции «Морские млекопитающие голарктики» 11–17 октября 2004. Коктебель-Москва; 2004. С. 581-5.
  9. Burkanov VN et al. [Results of a brief survey of Steller sea lion populations in the north Okhotsk Sea and the coast of Sakhalin island in 2013]. In: Moskiye Mlekopitayuschiye Golarktiki. [Marine Mammals of the Holarctic]. Saint Petersburg-Moscow; 2014; 108-12. (In Russ.)
  10. Vertiankin VV, Nikulin VS. [Sea lion (*Eumetopias jubatus*) haulout in the Petropavlovsk-Kamchatskiy city]. In: Sokhraneniye Bioraznoobraziya Kamchatki i Prilegayuschikh Morey. [Conservation of Biodiversity of Kamchatka and Adjacent Seas]. Petropavlovsk-Kamchatsky; KB PGI FEB RAS; 2004; P. 372-76. (In Russ.)
  11. Ivshina ER. [Distribution of spawning grounds of pacific herring Sakhalin Hokkaido and Decastri populations at the west coast of Sakhalin island (Japan sea)]. Voprosy Rybovodstva. 2022;23(2): 201-15.
  12. Kalchugin PV, Boyko MI, Solomatov SF, Cherniyenko EP. [Modern state of bottom and demersal fish resources in the Russian waters of the Japan Sea]. Izvestiya TINRO. 2016;184(1):54-69. (In Russ.)
  13. Kosygin GM, Trukhin AM, Burkanov VN, Makhnyr AI. [Spotted seal's haul-outs on the shores of the Sea of Okhotsk]. In: NIR po Morskim Mlekopitayuschim v Severoy Chasti Tikhogo Okeana. [Research Works on Marine Mammals in the North Pacific in 1984/85]. 1986. P. 60-70. (In Russ.)
  14. Chupakhina TI, Ponteleyeva OI, Burkanov VN. [Distribution and abundance of Steller sea lion (*Eumetopias jubatus*) on haul-out sites of Sakhalin Island]. In: Moskiye Mlekopitayuschiye Golarktiki. [Marine Mammals of the Holarctic]. Koktebel-Moscow; 2004. P. 581-5. (In Russ.)
  15. Burkanov VN. 2009. Russian Steller Sea Lion Research Update. AFSC Quarterly Rep., Jan-Feb-Mar 2009. P. 6–11.
  16. Ban SS. Modelling and characterization of Steller sea lion haulouts and rookeries using oceanographic and shoreline type data (dissertation). University of British Columbia; 2005.
  17. Barton K, Booth K, Ward J, Simmons DG, Fairweather JR. Visitor and New Zealand fur seal interactions along the Kaikoura Coast. Tourism Research and Education Centre (TREC) Report No. 9. Tourism Research and Education Centre, Lincoln University, Lincoln; 1998.
  18. Chayahara Y, Nakanowataru Y, Abe S, Kurosawa R, Suma S, Murasato N, Oyamada R, Ebashi N, Tsunokawa M, Sakurama M, Kooriyama T. Human impact on the twenty-four-hour patterns of Steller sea lions' use of a haulout in Hokkaido, Japan. Animals. 2024;14(9):1312.
- Общий список литературы/References**
1. Borodavkina MV, Bobyr IG, Karpenko SYe. [Wintering Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*) near Kunashir and Shikotan Islands]. In: Moskiye Mlekopitayuschiye Golarktiki. [Marine Mammals of the Holarctic]. Astrakhan-Moscow; 2018; P. 90-4. (In Russ.)
  2. Burkanov VN, Andrews R, Hattori K, Yesano T, Tretyakov AV. [Brief results of Steller sea lion counts in the northern Sea of Okhotsk and Sakhalin island]. In: Moskiye Mlekopitayuschiye Golarktiki. [Marine mammals of the Holarctic]. Suzdal'-Moscow; 2012. P. 134-9. (In Russ.)



# РОДОВЫЕ СПЕКТРЫ ФЛОР ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ РАЙОНОВ САМАРО-УЛЬЯНОВСКОГО ПОВОЛЖЬЯ

**А.В. Иванова**

Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Институт экологии Волжского бассейна РАН,  
Тольятти, Россия

Эл. почта: [nastia621@yandex.ru](mailto:nastia621@yandex.ru)

Статья поступила в редакцию 22.11.2024; принята к печати 04.04.2025

Определены ведущие рода флоры всей территории Самаро-Ульяновского Поволжья и ее отдельных физико-географических подразделений. Изучение таксономических параметров флор осуществлено по спискам сосудистых растений физико-географических районов, относящихся к изучаемой территории. В работе рассматривались как спектры родов отдельных физико-географических районов, так и спектры объединенных флор: всей территории Самаро-Ульяновского Поволжья, лесостепной части, Приволжской возвышенности и степной части территории. Для всей рассматриваемой территории несколько родов обозначены как ведущие по числу видов: *Carex*, *Galium*, *Potentilla*, *Artemisia*, *Salix* и *Viola*. Род *Astragalus* также можно считать многочисленным, но это относится не ко всем флорам. Для лесостепной зоны можно дополнительно отметить род *Veronica*, а для территории Приволжской возвышенности – род *Campanula*. Для степной зоны кроме ведущих родов общего перечня можно отметить род *Plantago*. С помощью кластерного анализа показана общность физико-географических районов на основе их родового состава. Выделены две группы районов и несколько подгрупп. **Ключевые слова:** таксономические параметры флоры, ведущие роды, Самаро-Ульяновское Поволжье, физико-географические районы, спектры родов.

## GENUS SPECTRA OF FLORA IN THE PHYSICO-GEOGRAPHICAL REGIONS OF SAMARA-ULYANOVSK VOLGA REGION

**A.V. Ivanova**

Institute of Ecology of Volga River Basin, Samara Federal Research Center of the Russian Academy  
of Sciences, Togliatti, Russia

Email: [nastia621@yandex.ru](mailto:nastia621@yandex.ru)

The leading genera of the entire Samara-Ulyanovsk Volga region, as well as of its individual physical-geographical subdivisions, are determined. The study of taxonomic parameters of the floras is carried out using the published lists of vascular plants of the corresponding physical-geographical regions. In the study, considered were both the spectra of genera of individual physical-geographical regions and the spectra of combined floras in the entire territory of *Potamogeton* Samara-Ulyanovsk Volga region, in its forest-steppe part, in Volga Upland and in the steppe part. For the entire territory under consideration, the several genera rated as leading according to the number of species are *Carex*, *Galium*, *Potentilla*, *Artemisia*, *Salix* and *Viola*. The genus *Astragalus* can also be considered abundant in species, but this does not apply to all floras. For the forest-steppe zone, the genus *Veronica* may be additionally noted, and for the territory of the Volga Upland, the genus *Campanula*. For the steppe zone, the genus *Plantago* may be noted in addition to the leading genera of the common list. Using cluster analysis, the commonality of physical and geographical areas is shown based on their generic composition. Two groups of districts and several subgroups are distinguished.

**Key words:** flora taxonomic parameters, leading genera, Samara-Ulyanovsk Volga region, physical-geographical regions, genera spectra.

### Введение

Для устойчивого развития территории необходим определенный запас биоразнообразия, основой которого является фиторазнообразие. Важный компонент его – видовой список флоры. Флору следует рассматривать как систему, характеризующуюся набором параметров, которые лучше использовать комплексно. Целый ряд таксономических параметров харак-

теризуется с помощью анализа таксономических спектров семейств и родов. Традиционно сначала анализируется спектр семейств. Изучение родового спектра дает больше сведений о локальных особенностях флор, что является важным при изучении территорий с относительно небольшим географическим охватом. Самаро-Ульяновское Поволжье составляет лишь часть территории Среднего Поволжья и мень-

шую часть Волжского бассейна, включающего в себя целый ряд (но далеко не все) восточноевропейских флор. Тем не менее, изучая состав родового спектра флор выбранной нами территории, возможно выделить ее общие, а также локальные черты, присущие только отдельным ее подразделениям.

## Материалы и методы

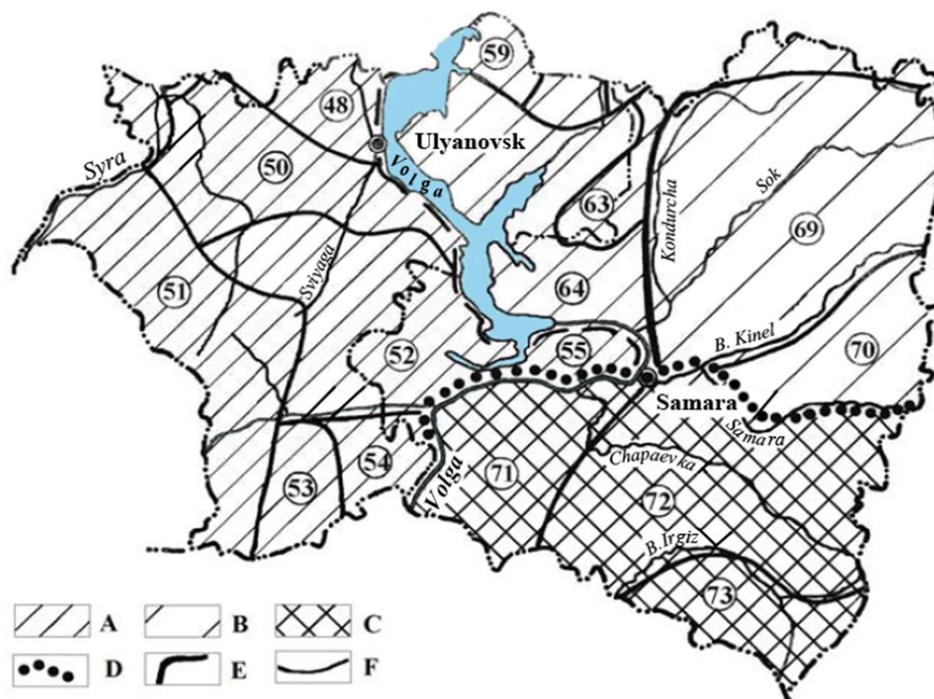
### Природные условия

За основу нами взято физико-географическое районирование А.В. Ступишина [13]. В пределах Самаро-Ульяновского Поволжья выделяются две природные зоны: лесостепная и степная, четыре физико-географических провинции и 15 районов (рис. 1). Каждое из упомянутых подразделений характеризуется определенной общностью экологических условий: особенностями рельефа, геологического строения, почв, растительности и местных климатических условий. Вместе с тем они показывают разнообразие флор регионального уровня, обладающих общими признаками, которые необходимо установить. Для определения ведущих родов нами использованы данные по 12 физико-географическим районам, флористическая информация по которым является более полной.

Площади физико-географических районов составляют 2,3–9,7 тыс. км<sup>2</sup> [13], что по размерности попадает в интервал между локальным и региональным флористическим уровнями, обозначенными Р.В. Камелиным [7]. Следовательно, есть основания полагать, что флоры данных подразделений являются наиболее полными, а не выборками из целой совокупности. Вместе с тем, использованные для анализа флористические списки характеризуют наиболее целостные природные (а не административные!) подразделения.

## Исходные данные по флоре Самаро-Ульяновского Поволжья

Списки встреченных видов сосудистых растений составляют основу базы данных FD SUR [1]. Данные по флоре накапливались в течение многих лет (2003–2023) в результате экспедиционных исследований. Исходные списки составлялись на местности в каждом географическом пункте маршрутным методом с длиной маршрута до 5–7 км для наиболее полного охвата имеющихся экотопов. При обработке собранного материала в камеральных условиях списки дополнялись видами с учетом собранного и определенного гербар-



**Рис. 1.** Физико-географические районы Самаро-Ульяновского Поволжья по: [13].

А – лесостепная провинция Предволжья; В – лесостепная провинция Заволжья; С – степная провинция Заволжья; D – граница физико-географических зон; E – граница физико-географических провинций; F – граница физико-географических районов. Физико-географические районы: 48 – Средне-Свияжский; 50 – Корсунско-Сенгилеевский; 51 – Инзенский; 52 – Свяго-Усинский; 53 – Сызранско-Терешкинский; 54 – Южно-Сызранский; 55 – Жигулевский; 64 – Мелекесско-Ставропольский; 69 – Сокский; 70 – Самаро-Кинельский; 71 – Чаргинский; 72 – Сыртовый; 73 – Иртызский

ного материала. В дополнение к имеющемуся материалу был использован ряд литературных источников, содержащих исследования, проведенные аналогичным образом [9, 10].

Для анализа нами использовано 492 исходных списка, соответствующие географическим пунктам, которые расположены в территориальных границах Самарской и Ульяновской областей. Исходные списки объединялись соответственно расположению их географических пунктов для каждого из 12 физико-географических районов с помощью функциональных алгоритмов базы данных FD SUR. Также с помощью базы данных было построено необходимое число родовых спектров флор. Флора Самарской Луки (Жигулевский физико-географический район) проанализирована по списку, представленному в работе С.В. Саксонова [12].

Построение карт-схем распространения видов по территории также осуществлялось при помощи базы данных FD SUR [1]. Кластерный анализ проводился с помощью пакета Statistica 10.0.

### Результаты и обсуждение

Традиционно при анализе таксономического спектра особое внимание уделяется его так называемой головной части, которая представлена 10–15 таксонами (в данном случае, родами). Концентрируя в своем составе значительную долю видов флоры изучаемой местности, головная часть представляет собой ее своеобразное «лицо». Таким образом, головная часть спектра представлена меньшим числом таксонов (родов или семейств), но большим числом видов. Хвостовая часть спектра же, наоборот, концентрирует в себе больше таксонов, но меньше видов. Для нее характерны многочисленные повторы: один и тот же ранг могут иметь более половины таксонов, составляющих общий список флоры данной местности. Например, во флорах рассматриваемых физико-географических районов насчитывается 183–281 род, имеющий в своем составе один вид, что составляет 52,8–65,7% общего количества родов во флорах.

В таблице 1 представлены головные части спектров родов изучаемых флор физико-географических районов. Они имеют как общие черты, так и специфические, отражающие их локальные особенности, возникшие в результате формирования в различных природных условиях, которые соответствуют отдельным физико-географическим подразделениям рассматриваемой территории. Данную таблицу можно рассматривать как исходную для анализа всей территории Самаро-Ульяновского Поволжья.

В процессе изучения флоры список видов, ее составляющих, постоянно пополняется. При увеличении числа видов в выборке таксономический спектр флоры начинает все более структурироваться опре-

деленным образом. Головная часть его формируется несколько позднее хвостовой. Для спектра родов это происходит несколько медленнее, чем для спектра семейств. Так, ранее нами было показано, что у спектров семейств Сокского и Иргизского физико-географических районов тройка ведущих семейств при численностях видов в выборках 700 и 500 соответственно (внутри каждого района), имеет правильный для региональной флоры вид: *Asteraceae*, *Poaceae*, *Fabaceae* [4, 5]. Выход же на 1-е место рода *Carex* во флорах изучаемой территории происходил при достижении объема выборки 1000 видов и более [5]. Таким образом, выборки, имеющие более 1000 видов, являются более представительными, и их следует рассмотреть отдельно.

Сначала рассмотрим территорию Самаро-Ульяновского Поволжья, включающую все 12 районов (таблица 2, колонка 1). Так как включенные в анализ выборки имеют несколько различное число видов, и головная часть спектров оформилась не у всех, перечень ведущих родов представлен в более расширенном варианте: *Carex*, *Galium*, *Potentilla*, *Artemisia*, *Astragalus*, *Salix*, *Viola* (таблица 2, колонка 1). В выборке, сделанной из пяти позиций по всем 12 районам (таблица 2, колонка 2), род *Viola* также среди лидирующих. Учитывая, что различия полноты используемых выборок составляют порядка 450 видов, то более объективно рассматривать вариант колонки 1. Следует заметить, что и в этом случае род *Astragalus* находится на последнем месте по численности среди ведущих, зато род *Viola* все же является более многочисленным. Отметим, что этот род на различных позициях, но среди ведущих у всех выборок из таблицы 2.

Род *Astragalus* не везде входит в число ведущих, что отражает не повсеместное распространение его представителей, а привязанность к территориям с определенными природными условиями. Отмечается, что входящие в него виды предпочитают выходы кальцийсодержащих пород [8]. Такая избирательность является в каком-то смысле определяющей при формировании локальных особенностей флоры. Рассматривая имеющуюся мозаику флор территории Самаро-Ульяновского Поволжья, можно отметить локальные участки, для которых указанный род является ведущим [6]. Наличие таких участков безусловно является важной характеристикой флоры территории. Однако для всех без исключения флор, описанных здесь, такого сказать нельзя, в ряде случаев род *Astragalus* не является ведущим.

Особенности распределения представителей рода *Astragalus* по территории иллюстрируют рисунки 2, 3. Из них следует, что ряд видов этого рода имеют свои особенности распространения, произрастая, например, в южной части степного Заволжья (Иргизский

Головные части родовых спектров флор физико-географических районов Самаро-Ульяновского Поволжья

Ранг по числу видов	Физико-географические районы (см. рис. 1)											
	48	50	51	52	54	55	64	69	70	71	72	73
	Число видов											
	1179	972	1081	1223	769	1302	1272	1195	900	878	834	906
	Число родов											
503	439	470	498	367	541	507	475	416	404	358	380	
1	<i>Car</i>	<i>Gal</i>	<i>Car</i>	<i>Car</i>	<i>Art</i>	<i>Car</i>	<i>Car</i>	<i>Car</i>	<i>Car</i>	<i>Car</i>	<i>Car</i> <i>Astr</i>	<i>Astr</i>
2	<i>Gal</i>	<i>Astr</i>	<i>Gal</i>	<i>Gal</i>	<i>Astr</i> <i>Gal</i>	<i>Gal</i>	<i>Pot</i> <i>Gal</i>	<i>Pot</i> <i>Gal</i>	<i>Art</i>	<i>Art</i>	<i>Art</i> <i>Pot</i>	<i>Art</i>
3	<i>Art</i>	<i>Car</i>	<i>Viola</i>	<i>Astr</i>	<i>Car</i>	<i>Viola</i>	<i>Art</i>	<i>Astr</i>	<i>Salix</i> <i>Gal</i>	<i>Gal</i>	<i>Gal</i>	<i>Car</i>
4	<i>Ver</i> <i>Salix</i> <i>Vicia</i>	<i>Art</i>	<i>Pot</i> <i>Astr</i>	<i>Viola</i> <i>Pot</i>	<i>Salix</i> <i>Pot</i>	<i>Pot</i>	<i>Ver</i> <i>Viola</i>	<i>Viola</i> <i>Art</i>	<i>Astr</i>	<i>Pot</i>	<i>Salix</i>	<i>Pot</i> <i>All</i>
5	<i>Pot</i>	<i>Pot</i> <i>Camp</i>	<i>Art</i>	<i>Salix</i>	<i>Camp</i> <i>Euph</i> <i>Vicia</i> <i>Ver</i> <i>Poa</i>	<i>Art</i> <i>Salix</i>	<i>Salix</i> <i>Potm</i>	<i>Ver</i> <i>Salix</i>	<i>Pot</i>	<i>Salix</i> <i>Viola</i> <i>Cent</i>	<i>Cent</i>	<i>Gal</i>
6	<i>Euph</i> <i>Chen</i> <i>Viola</i> <i>Camp</i>	<i>Cent</i> <i>Ver</i> <i>Vicia</i>	<i>Junc</i> <i>Camp</i> <i>Salix</i> <i>Vicia</i> <i>Cent</i>	<i>Art</i> <i>Ver</i>	<i>Cirs</i> <i>All</i> <i>Viola</i> <i>Stipa</i>	<i>Cent</i> <i>Ran</i> <i>Tarax</i> <i>Potm</i>	<i>Ran</i> <i>Tarax</i> <i>Cent</i> <i>Vicia</i> <i>Junc</i>	<i>Cent</i>	<i>Viola</i>	<i>Astr</i> <i>Chen</i>	<i>Potm</i> <i>Viola</i>	<i>Atr</i> <i>Euph</i>
7	<i>Junc</i>	<i>Viola</i> <i>Junc</i>	<i>Ver</i> <i>Euph</i>	<i>Vicia</i> <i>Camp</i>	<i>Cent</i> <i>Lath</i> <i>Rosa</i> <i>Ran</i> <i>Tanac</i> <i>Chen</i>	<i>Fest</i> <i>Poa</i>	<i>Dian</i> <i>Plant</i> <i>Camp</i> <i>Chen</i>	<i>Euph</i> <i>Chen</i> <i>Camp</i> <i>Cirs</i>	<i>Plant</i> <i>Euph</i> <i>Potm</i>	<i>Plant</i> <i>Atr</i> <i>Cirs</i>	<i>Poa</i>	<i>Salix</i> <i>Stipa</i>
8	<i>Ran</i> <i>Cent</i> <i>Cirs</i> <i>Rum</i>	<i>Salix</i> <i>Euph</i> <i>Epil</i> <i>Stipa</i> <i>Rum</i>	<i>Epil</i> <i>Cirs</i> <i>All</i> <i>Pilos</i> <i>Poa</i>	<i>Poa</i> <i>Euph</i> <i>Alch</i>	14 родов	<i>Ver</i> <i>Euph</i> <i>Camp</i> <i>Pilos</i>	6 родов	<i>Stipa</i> <i>Vicia</i> <i>Lath</i> <i>Plant</i>	6 родов	6 родов	<i>Rum</i> <i>Stipa</i> <i>All</i> <i>Plant</i> <i>Chen</i>	<i>Viola</i> <i>Ver</i> <i>Potm</i> <i>Plant</i>

**Примечание:** *Alch* – *Alchemilla* (Манжетка), *All* – *Allium* (лук), *Art* – *Artemisia* (Полынь), *Astr* – *Astragalus* (Астрагал), *Atr* – *Atriplex* (Лебеда), *Camp* – *Campanula* (Колокольчик), *Car* – *Carex* (Осока), *Cent* – *Centaurea* (Василек), *Chen* – *Chenopodium* (Марь), *Cirs* – *Cirsium* (Бодяк), *Dian* – *Dianthus* (Гвоздика), *Epil* – *Epilobium* (Кипрей), *Euph* – *Euphorbia* (Молочай), *Fest* – *Festuca* (Овсяница), *Gal* – *Galium* (Подмаренник), *Galt* – *Galatella* (Солонечник), *Junc* – *Juncus* (Ситник), *Lath* – *Lathyrus* (Чина), *Pilos* – *Pilosella* (Ястребиночка), *Plant* – *Plantago* (Подорожник), *Poa* – *Poa* (Мятлик), *Pot* – *Potentilla* (Лапчатка), *Potm* – *Potamogeton* (Рдест), *Ran* – *Ranunculus* (Люттик), *Rosa* – *Rosa* (Шиповник), *Rum* – *Rumex* (Щавель), *Sal* – *Salix* (Ива), *Stipa* – *Stipa* (Ковыль), *Tanac* – *Tanacetum* (Пижма), *Tarax* – *Taraxacum* (Одуванчик), *Ver* – *Veronica* (Вероника), *Vicia* – *Vicia* (Горошек), *Viol* – *Viola* (Фиалка).

Роды, выделенные как ведущие для различных выборок групп районов (по таблице 1)

1	2	3	4	5
12 <i>Carex</i>	12 <i>Carex</i>	6 <i>Carex</i>	4 <i>Carex</i>	3 <i>Carex</i>
12 <i>Potentilla</i>	12 <i>Potentilla</i>	6 <i>Potentilla</i>	4 <i>Potentilla</i>	3 <i>Potentilla</i>
12 <i>Galium</i>	12 <i>Galium</i>	6 <i>Galium</i>	4 <i>Galium</i>	3 <i>Galium</i>
12 <i>Artemisia</i>	11 <i>Artemisia</i>	6 <i>Artemisia</i>	4 <i>Artemisia</i>	3 <i>Artemisia</i>
12 <i>Viola</i>	9 <i>Salix</i>	6 <i>Viola</i>	4 <i>Viola</i>	3 <i>Viola</i>
12 <i>Salix</i>	8 <i>Astragalus</i>	6 <i>Veronica</i>	4 <i>Veronica</i>	3 <i>Salix</i>
9 <i>Centaurea</i>	6 <i>Viola</i>	6 <i>Salix</i>	4 <i>Campanula</i>	3 <i>Plantago</i>
9 <i>Veronica</i>		6 <i>Campanula</i>	4 <i>Salix</i>	3 <i>Astragalus</i>
9 <i>Astragalus</i>			4 <i>Euphorbia</i>	
9 <i>Euphorbia</i>				
8 <i>Campanula</i>				

**Примечания:** Цифра перед наименованием таксона означает число флор районов, содержащих его в головной части. Жирным шрифтом обозначены рода, лидирующие по видовому составу у всех выборок.

Выборки по колонкам:

1 – из 8 первых позиций спектра по всем 12 районам;

2 – из 5 первых позиций спектра по всем 12 районам;

3 – из 8 первых позиций спектра (для 6 районов с числом видов 1000 и более) – вся лесостепная часть;

4 – из 8 первых позиций спектра (для 4 районов Предволжья с числом видов 1000 и более);

5 – из 8 первых позиций спектра (для 3 степных районов Заволжья).

район). В сумме с другими видами этого рода общая доля во флоре данного таксона увеличивается, что сказывается на составе спектра. Наоборот, северная и центральная части Ульяновской области (Инзенский, Средне-Свияжский районы), а также территория Низменного лесостепного Заволжья (Мелекесско-Ставропольский район) не отличаются обилием рода *Astragalus* во флоре.

Безусловно лидирующими по видовому составу родами на территории Самаро-Ульяновского Поволжья можно назвать четыре: *Carex*, *Galium*, *Artemisia* и *Potentilla*. Это иллюстрируют все рассмотренные выборки из таблицы 2. Среди ведущих родов по всем рассмотренным флорам можно отметить еще *Viola*, а также род *Salix*. Возможно, представители рода *Viola* имеют более широкий экологический спектр, поэтому выявляются на местности при изучении флоры несколько медленнее, чем род *Salix*.

Род *Carex* является безусловно крупнейшим в составе рассматриваемых флор, его обилие – «общая черта евроазиатских (в том числе и североазиатских) флор» [7]. В числе ведущих род *Carex* показан и для флоры России [2], и для флоры СССР [11]. Однако в обоих случаях он не на первом месте, так как рассматривается очень большая территория с разнообразными природными условиями. Подавляющее же число видов этого рода предпочитают «биотопы с повышенной или избыточной влажностью почвы» [3].

Среди десятки ведущих родов флор России и СССР также указываются рода *Artemisia* и *Potentilla*. Отме-

чается, что у рода *Artemisia* «флористическая роль максимальна в крайних условиях существования» [11] – отсутствие нормального увлажнения, континентальный климат. В пределах рассматриваемой нами территории природные условия не столь суровы. Районы степной зоны расположены в ее северной части. Однако можно заметить, что род *Artemisia* в их спектрах занимает вторую позицию, в то время как у районов лесостепной – четвертую, пятую или шестую (таблица 1).

Большинство представителей рода *Potentilla* также избегает влажного климата. Отмечается, что при движении к северу роль лапчаток во флоре усиливается [11]. В нашем случае это не столь заметно, род *Potentilla* остается среди ведущих у флор всех районов, положение его в спектре не меняется.

Род *Galium* для рассматриваемой нами территории показан как ведущий. У районов лесостепной зоны он занимает в основном второе место, в степной зоне теряет такие высокие позиции, особенно заметно он опускается в спектре флоры Иргизского района (таблица 1).

Флоры отдельных групп физико-географических районов, объединенные по признаку принадлежности к различным провинциям и природным зонам (рис. 1), имеют свои особенности состава родовых спектров (таблица 2, колонки 3, 4, 5). Спектры колонок 3 и 4 отражают особенности лесостепных флор. Составы их очень схожи одни с другими. От общей характеристики флор их отличает более высокое положение

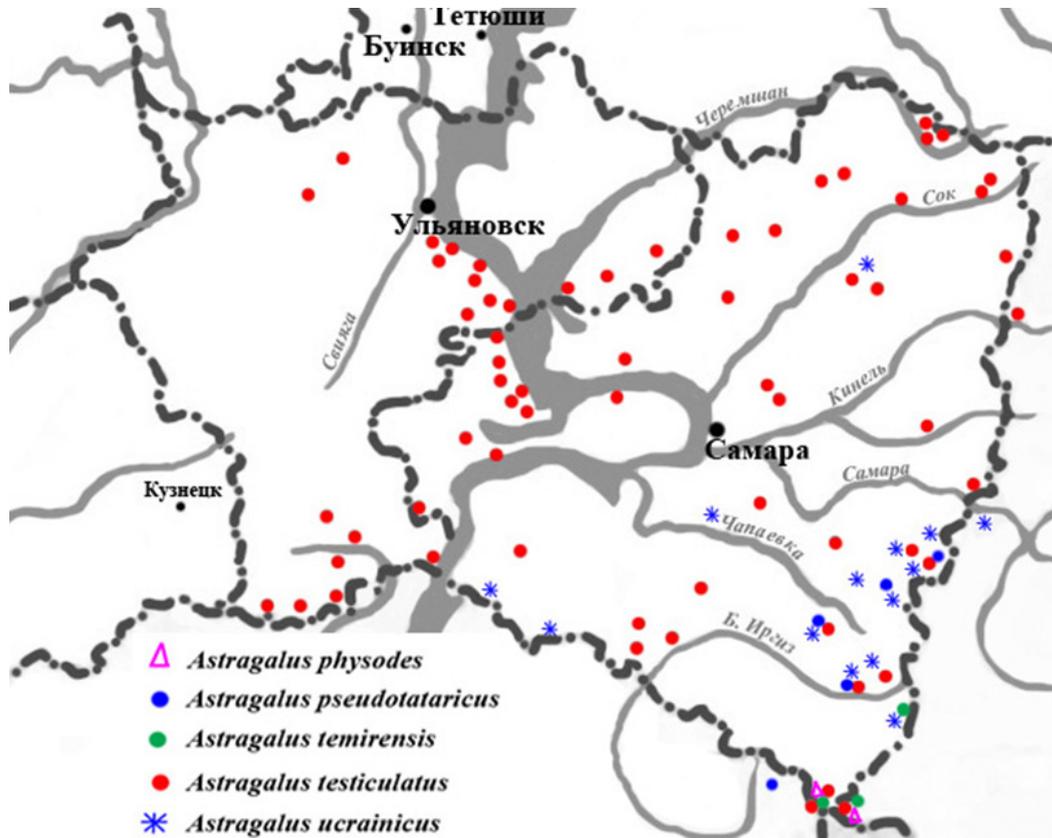


Рис. 2. Карта-схема распространения некоторых видов рода *Astragalus* по территории Самаро-Ульяновского Поволжья

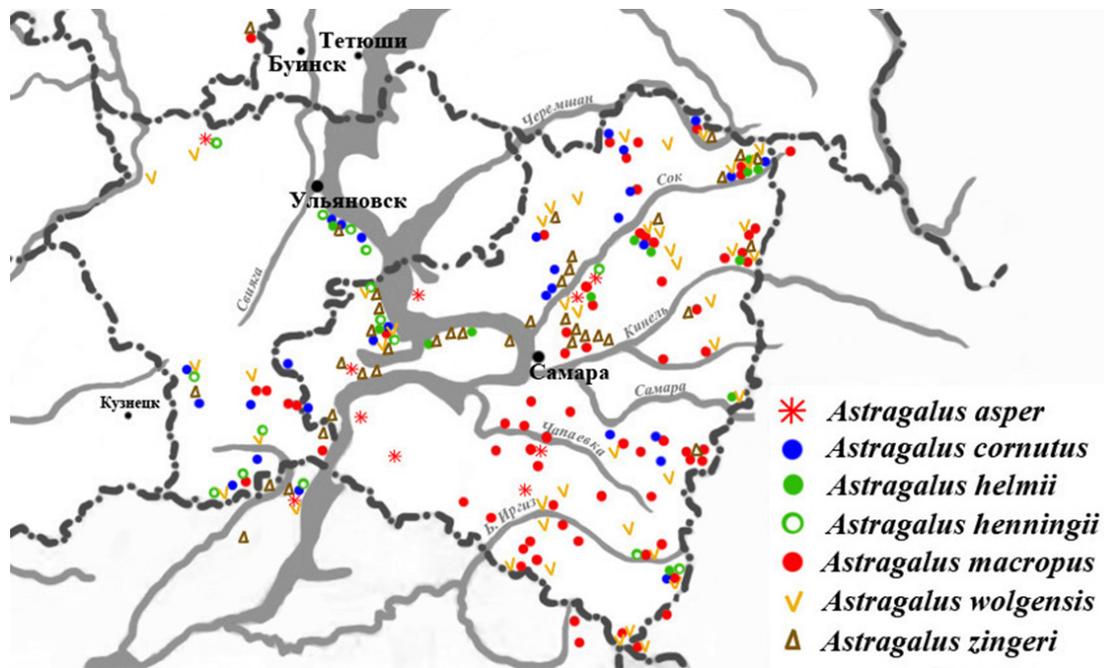


Рис. 3. Карта-схема распространения некоторых видов рода *Astragalus* по территории Самаро-Ульяновского Поволжья

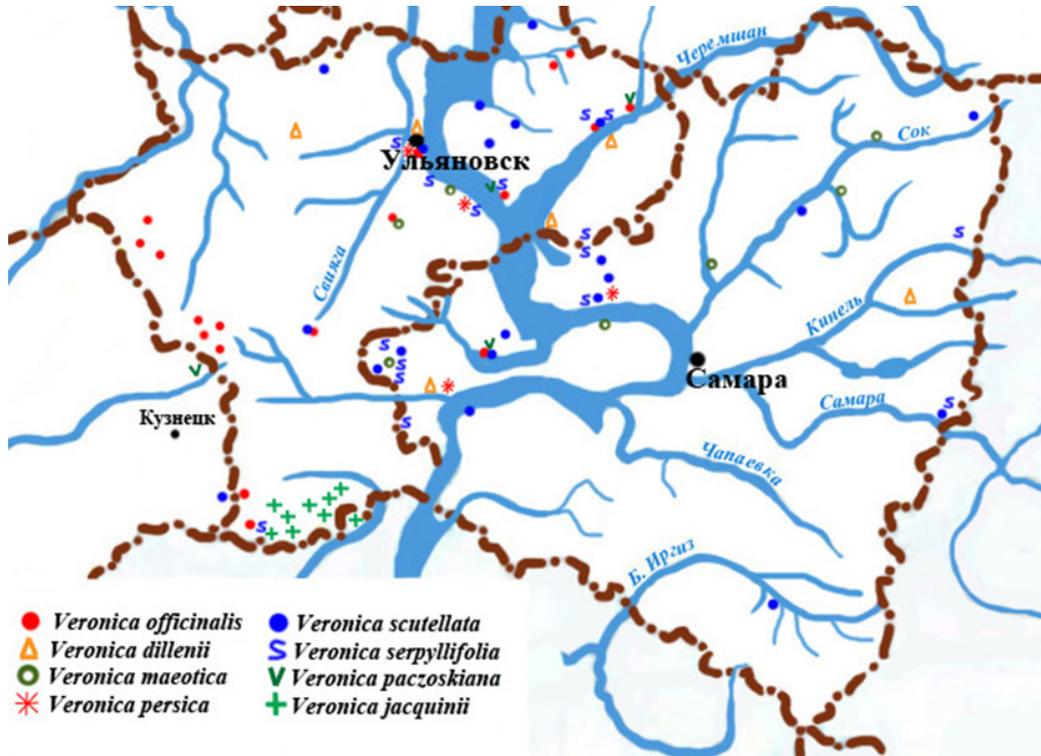


Рис. 4. Карта-схема распространения видов рода *Veronica* по территории Самаро-Ульяновского Поволжья

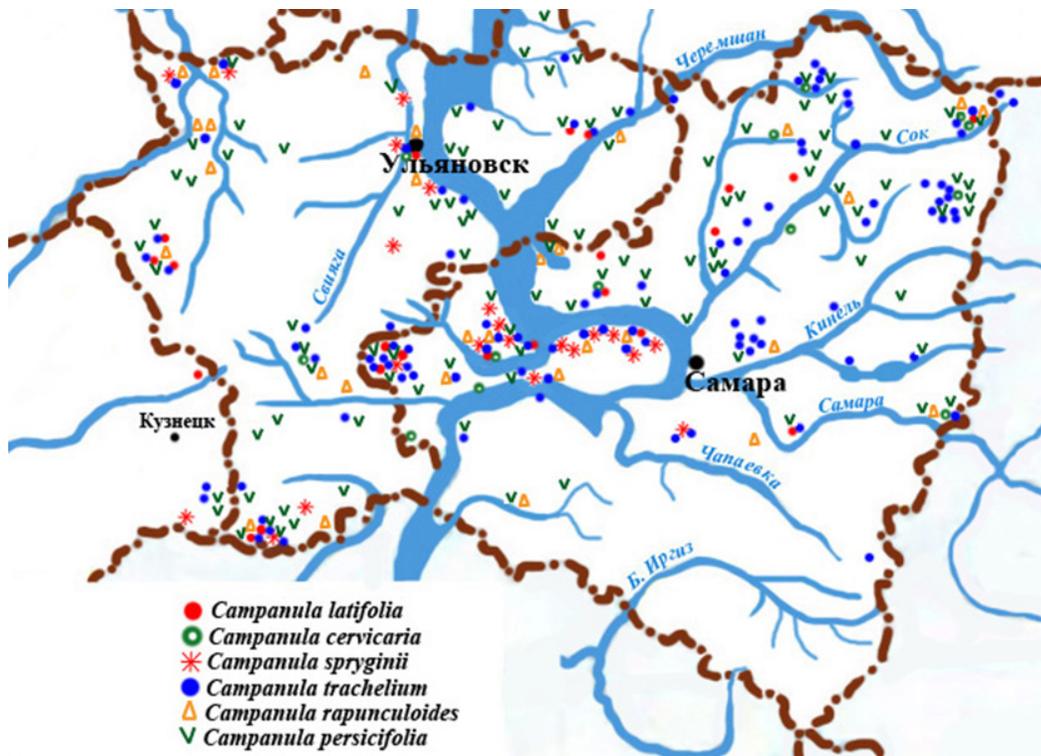


Рис. 5. Карта-схема распространения видов рода *Campanula* по территории Самаро-Ульяновского Поволжья

рода *Veronica*. Очевидно, в степной зоне этот таксон теряет свое обилие. Род *Veronica*, безусловно, достаточно крупный. Кроме видов, распространенных повсеместно, – *Veronica arvensis*, *V. chamaedrys*, *V. anagallis-aquatica*, отдельные виды встречаются чаще или исключительно в лесостепной зоне: *V. officinalis*, *V. persica*, *V. scutellata* (рис. 4). Можно видеть, насколько разнообразие видов этого рода выше в Предволжье, чем в степном Заволжье.

Для лесостепной части Предволжья также следует отметить многочисленность видов рода *Campanula*. Причем именно на территории Приволжской возвышенности этот род оказывается наиболее богато представлен видами. Здесь наряду с обычными, широко распространенными видами *Campanula bononiensis*, *C. sibirica*, *C. glomerata*, встречаются лесостепные и лесные виды-мезофиты: *C. latifolia*, *C. cervicaria*, а также встреченные лишь в Предволжье – *C. rotundifolia*, *C. spryginii* (рис. 5).

Во флорах степных районов (71 и 72) род *Campanula* представлен пятью видами: *C. bononiensis*, *C. sibirica*, *C. persicifolia*, *C. rapunculoides*, *C. trachelium*, и в спектре родов он не поднимается в головную часть (не достигает высоких рангов). На самом же юге области, на территории Иргизского низменно-равнинного степного района (73) южного типа встречаются *C. bononiensis*, *C. sibirica*, кроме того, в составе флоры Таловского заповедника отмечается *C. wolgensis* [14]. Южная часть, представленная Иргизским районом, существенно отличается по природным условиям от территорий Чагринского и Сыртового районов (71 и 72),

которые относятся согласно районированию А.В. Ступишина также к степной зоне. Однако в состав территории, например, Чагринского района, входит пойма реки Волги, где произрастают пойменные леса, в том числе дубравы, в которых произрастают многие лесные виды. Это определяет различие видового состава флор трех районов, принадлежащих степной зоне.

Флоры трех районов, относящихся к степной зоне, содержат несколько меньшее число видов. Их общие черты (таблица 2, колонка 5) отражаются в восьми общих родах в головной части. Однако отмеченные выше различия природных условий определяют и некоторые индивидуальные черты флор. У Сыртового и Иргизского районов выше в спектре родов расположен род *Astragalus* (таблица 1). Эти территории включают Сыртовую равнину, во многих местах которой на поверхность выходят породы татарского яруса пермской системы, представленные пестро-цветной толщей глин и песков с прослоями песчаников. Более возвышенные участки Общего Сырта сложены глиной и мергелем мелового периода [13]. Все это создает благоприятные условия для видового разнообразия рода *Astragalus*. Кроме того, во флоре Иргизского района заметно обилие видов рода *Allium*, которое, возможно, становится еще более заметным по причине снижения количества видов в других родах.

Таким образом, наличие определенных родов во флоре, а также обилие составляющих их видов определяют флористическую индивидуальность каждого района. Результат кластерного анализа родового состава флор районов показан на рис. 6. Районы объе-

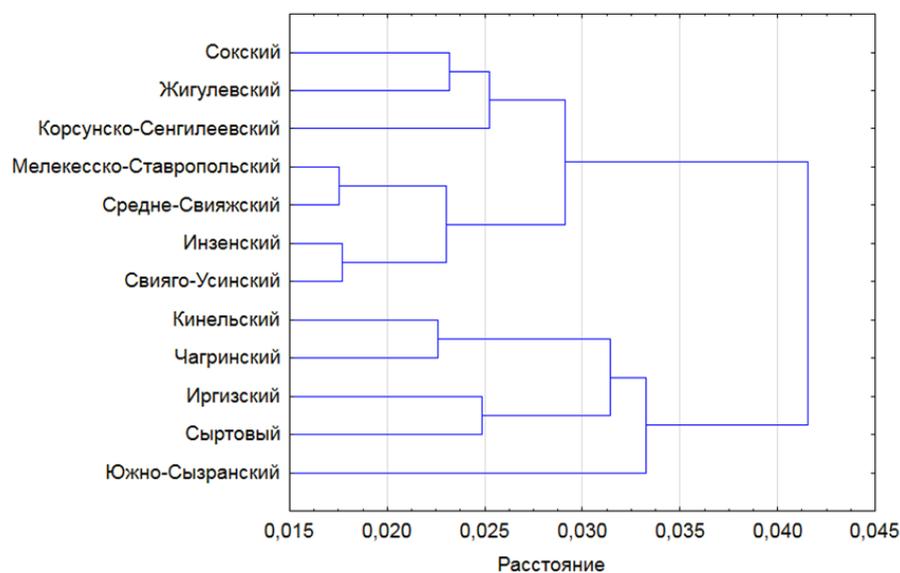


Рис. 6. Дендрограмма флор физико-географических районов по составу родов

диняются в две группы. Первая группа представлена южной частью Заволжья: степная зона и Кинельский район, непосредственно примыкающий к границе зон и по этой причине имеющий общность флористического состава с данной группой. К ней же присоединен еще Южно-Сызранский район, расположенный в правобережье. Число обнаруженных видов здесь меньше, что возможно снижает его флористическую представленность. Однако общность с южными районами отражает его географическое расположение.

Вторая группа представлена районами лесостепной зоны. Основная часть их находится в правобережье, и только Сокский принадлежит провинции Высокого Заволжья. Однако наличие Сокских гор и достаточно крупных лесных массивов на его территории определяет большую схожесть родового состава его флоры с флорой Самарской Луки (Жигулевский район). Вместе с Корсунско-Сенгилеевским районом они составляют одну из подгрупп. Поверхность рельефа у них представляет собой плато с выраженными двумя ступенями – высокой и низкой, либо поверхность существенно расчленена балками и оврагами (Сокский район). Вследствие этого на поверхность выходят различные материнские породы – мела, глины, песчаники, карбонатные породы. Они участвуют в образовании почвенного покрова, тем самым определяя специфику флористического состава.

Отдельную подгруппу в первой группе составляют четыре района, объединенные попарно. Инзенский и Свято-Усинский включают флору лесов и болот, расположенных в пределах их территорий. Мелекесско-Ставропольский и Средне-Свияжский районы объединяет более выровненный рельеф.

## Заключение

Для всей территории Самаро-Ульяновского Поволжья лидирующими по видовому составу родами являются рода *Carex*, *Galium*, *Artemisia* и *Potentilla*. В выборках, состоящих из 1000 видов и более, к лидирующим добавляются рода *Salix* и *Viola*. Род *Astragalus* также можно считать многочисленным, но это относится не ко всем без исключения флорам. Часть флор, принадлежащих изучаемой территории, имеют этот род в числе ведущих родового спектра. Для лесостепной зоны можно дополнительно отметить род *Veronica*, а для территории Приволжской возвышенности – род *Campanula*.

Флоры трех районов, относящихся к степной зоне, имеют восемь общих родов в головной части спектра: *Carex*, *Potentilla*, *Galium*, *Artemisia*, *Viola*, *Salix*, *Plantago* и *Astragalus*. Районы степной зоны также различаются по локальным особенностям флор: у Сыртового и Иргизского выше в спектре родов расположен род *Astragalus* и род *Allium*, что связано с особенностями почвенного покрова и увлажнения.

Родовой состав флоры отражает флористическую индивидуальность физико-географических районов, по результатам кластерного анализа они объединяются в группы и подгруппы, соответственно их географическому положению и природным условиям.

**Благодарности.** Исследования выполнены в рамках государственного задания Института экологии Волжского бассейна РАН «Комплексная оценка состояния биологических ресурсов и мониторинг природных экосистем Волжского бассейна» (FMRW-2025-0047), регистрационный номер 1024032600230-5-1.6.19.

## Литература

### Список русскоязычной литературы

1. Аристова МА, Розенберг ГС, Кудинова ГЭ, Розенберг АГ, Иванова АВ, Васюков ВМ, Костина НВ, Саксонов СВ. 2018. База данных «Флористические описания локальных участков Самарской и Ульяновской областей» (FD SUR). Свидетельство о регистрации базы данных RUS 2018621983 12.11.2018.
2. Гельтман ДВ, Антонова НН, Бялт ВВ, Грабовская АЕ, Дорофеев ВИ, Золкина ЛА, Конечная ГЮ, Красовская ЛС, Крупкина ЛИ, Левичев ИГ, Медведева НА, Портениер НН, Соколова ИВ. Состав флоры сосудистых растений Российской Федерации. Известия РАН. Серия биологическая. 1998. 1. 93-7.
3. Егорова ТВ. Осоки (*Carex* L.) России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). Отв. ред. А.Л. Тахтаджян. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургская государственная химико-фармацевтическая академия; Сент-Луис: Миссурийский ботанический сад, 1999.
4. Иванова АВ, Аристова МА, Костина НВ. Зависимость таксономических параметров флоры от размера выборки для Иргизского физико-географического района. Экосистемы. 2022; 30:52-63.
5. Иванова АВ, Костина НВ, Аристова МА. Зависимость таксономических параметров флор от размеров выборки. Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2020; 20(4):404-16.

6. Иванова АВ, Костина НВ, Васюков ВМ. Таксономическое разнообразие семейства Fabaceae на территории Самаро-Ульяновского Поволжья. Экосистемы. 2020; 23(53):32-47.
7. Камелин РВ. География растений. Учебное пособие. СПб.: Изд-во ВВМ; 2018.
8. Князев МС. Бобовые (Fabaceae Lindl.) Урала: видообразование, географическое распространение, историко-экологические свиты : дис. ... докт. биол. наук. Екатеринбург; 2014.
9. Кудашкина ТА, Корчиков ЕС, Плаксина ТИ. «Гора Копейка» – уникальный памятник природы Кинельских яров (Самарская область). Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2009;11(1-3):436-40.
10. Кузовенко ОА, Плаксина ТИ. «Урочище Грызлы» – уникальный степной памятник природы Самарской области. Вестник СамГУ. 2009; 8(74):170-99.
11. Малышев ЛИ. Флористические спектры Советского Союза. В кн.: История флоры и растительности Евразии. Л.: Наука; 1972. С. 17-40.
12. Саксонов СВ. Самаролукский флористический феномен. М.: Наука; 2006.
13. Ступишин АВ, ред. Физико-географическое районирование Среднего Поволжья. Казань: Изд-во Казанского ун-та; 1964.
14. Шаронова ИВ, Плаксина ТИ. Флора участка «Таловская степь» государственного заповедника «Оренбургский». В кн.: Фиторазнообразие Восточной Европы; 2006. Т. 1; С. 30-46.
- (within the Former USSR)]. Sent Luis: Missouri Botanical Garden; 1999. (In Russ.)
4. Ivanova AV, Aristova MA, Kostina NV. [The dependence of the taxonomic parameters of the flora on the sample size for the Irgiz physico-geographical area]. Ekosistemy. 2022.30:52-63. (In Russ.)
5. Ivanova AV, Kostina NV, Aristova MA. [Dependence of the taxonomic parameters of flora on the sample size]. Izvestiya Saratovskogo Universiteta Seriya Khimiya Biologiya Ekologiya. 2020;20(4):404-16. (In Russ.)
6. Ivanova AV, Kostina NV, Vasjukov VM. [Taxonomic diversity of the Fabaceae on the territory of Samara-Ulyanovsk region]. Ekosistemy. 2020.23:32-47. (In Russ.)
7. Kamelin RV. Geografiya Rasteniy. Uchebnoye Posobiye. [Geography of Plants. Manual]. St. Petersburg: VVM; 2018. (In Russ.)
8. Kniyazev MS. Bobovye (Fabaceae Lindl.) Urala: Vidobrazovaniye Geograficheskoye Rasprostraneniye Istoriko-Ekologicheskoye Svity. [Legumes (Fabaceae Lindl.) of the Urals: Speciation, Geographical Distribution and Historical and Ecological Formations]. PhD Dissertation. Yekaterinburg: Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 2014. Vol. 1. (In Russ.)
9. Kudashkina TA, Korchikov ES, Plaksina TI. [Kopeyka Mountain is a unique natural monument of the Kinel'sky Yars (Samara region)]. Izvestiya Samarskogo Nauchnogo Tsentra Rossiyskoy Akademii Nauk. 2009;11(1-3):436-40. (In Russ.)
10. Kuzovenko OA, Plaksina TI. [Gryzly Tract is a unique steppe natural monument of the Samara region]. Vestnik SamGU. 2009;8(74):170-99. (In Russ.)
11. Malyshev LI. Floristicheskie Spektry Sovetskogo Soyuz. [Floral Spectra of the Soviet Union]. In: Istoriya Flory i Rastitel'nosti Yevrazii. Leningrad: Nauka; 1972. P. 17-40. (In Russ.)
12. Saksonov SV. Samarolukskiy Floristicheskiy Fenomen. [Samarolukskiy Floristic Phenomenon]. Moscow: Nauka; 2006. (In Russ.)
13. Stupishin AV, ed. Fiziko-Geograficheskoye Rayonirovaniye Srednego Povolzhian. [Physical and Geographical Zoning of the Middle Volga Region]. Kazan: Izdadelstvo Kazanskogo Universiteta; 1964. (In Russ.)
14. Sharonova IV, Plaksina TI. Flora Uchastka «Talovskaya Step» Gosudarstvennogo Zapovednika «Orenburgskiy». [Flora of the Talovskaya Steppe Site of the Orenburg State Nature Reserve]. In: Fitoraznoobraziye Vostochnoy Yevropy; 2006. Vol. 1. P. 30-46. (In Russ.)

#### Общий список литературы/Reference List

1. Aristova MA, Rosenberg GS, Kudina GE, Rosenberg AG, Ivanova AV, Vasyukov VM, Kostina NV, Saksonov SV. Baza dannykh «Floristicheskiye opisaniya lokalnykh uchastkov Samarskoy i Ulyanovskoy oblastey» (FD SUR). [Database "Floristic descriptions of local sites of Samara and Ulyanovsk regions" (FD SUR).] Certificate of registration of the database RUS 2018621983 12.11. 2018. (In Russ.)
2. Geltman DV, Antonova NN, Byalt BB, Grabovskaya AE, Dorofeev VI, Zolkina LA, Konechnaya GYU, Krasovskaya LS, Krupkina LI, Levichev IG, Medvedeva NA, Portenier NN, Sokolova IV. [The composition of the flora of vascular plants of the Russian Federation]. Izvestiya RAN. Seriya Biologicheskaya. 1998: 1: 93-7. (In Russ.)
3. Egorova TV. Osoki (*Carex* L.) Rossii i Sopredelnykh Gosudarstv (v Predelakh Byvshego SSSR). [Sedges (*Carex* L.) of Russia and Neighboring Countries

# СОСТОЯНИЕ ПРИРОДНЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА ТУРИСТИЧЕСКОМ МАРШРУТЕ В ГОРНО-ТАЕЖНЫХ ЛЕСАХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ШУШЕНСКИЙ БОР»

**А.И. Татаринцев\*, Н.Н. Кулакова**

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева,  
Красноярск, Россия

\* Эл. почта: [lespat@mail.ru](mailto:lespat@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 29.03.2025; принята к печати 16.04.2025

Экотуризм – одна из важных форм рекреационной деятельности – входит в комплекс экосистемных услуг. Экотуризм активно развивается в горно-таежных лесах охраняемых природных территорий на юге Средней Сибири. Для оптимизации рекреационного лесопользования необходим мониторинг состояния лесных экосистем. Исследованы лесные насаждения в пределах туристического маршрута на гору «Малый Борус» (Горное лесничество Национального парка «Шушенский бор») с целью оценить текущее состояние насаждений (древостоев), подверженных интенсивной рекреационной нагрузке. Выполнено детальное лесопатологическое обследование на двух участках туристической тропы с установлением рекреационной нарушенности и санитарного состояния насаждений, поврежденности поверхностных корней деревьев с выявлением болезней и повреждений на них. Рекреационная дигрессия насаждений на тропе достигает крайних стадий. Жизненное состояние исследуемых смешанных по составу древостоев ослабленное, визуально не отличается от состояния фоновых древостоев. Элементы леса по градиенту ухудшения состояния расположились так: ель, пихта → береза → кедр. Доля древесного отпада в кедровом элементе леса максимальная (в среднем 28%), включает деревья доминирующего статуса. По доле текущего отпада деревьев степень нарушенности эдификаторов леса в пределах тропы слабая. Значимая зависимость состояния деревьев всех лесообразующих видов от поврежденности корней не установлена. Распространенность болезней и повреждений (преимущественно стволов) по всем древесным видам превышает 10%; на кедре составляет 78%. Наиболее вредоносны варианты сочетанного повреждения стволов (травмы от околота + сухобокость + стволовая гниль) на кедре, ржавчинный опухольевый рак – на пихте. При относительно стабильном состоянии лесных насаждений (древостоев) на туристическом маршруте в дальнейшем необходимо осуществлять систематический лесопатологический контроль, исключить незаконную заготовку кедрового ореха путем околота.

*Ключевые слова:* горно-таежные леса, Средняя Сибирь, рекреационная нагрузка, санитарное состояние насаждений, текущий отпад.

## THE CONDITIONS OF FOREST STAND ALONG A TOURIST PATH IN MOUNTAIN TAIGA OF THE NATIONAL PARK «SHUSHENDKIY BOR»

**A.I. Tatarintsev\*, N.N. Kulakova**

M.F. Reshetnov Siberian State University of Science and Technology

Email: [lespat@mail.ru](mailto:lespat@mail.ru)

Ecotourism, an important form of recreational activities, is being actively developed in the natural mountain taiga territories of southern Middle Siberia. To optimize the recreational exploitation of forest, monitoring of forest conditions is expedient. In the present work, forest plantings along the tourist path towards Malyy Borus mountain (Mountain Forestry of the National Park "Shushenskiy Bor") were examined. Two stretches of the path were assessed for recreation-caused damage and sanitary conditions of plantings, for vulnerability of the surface roots of trees, and for root diseases and injuries. Recreation-caused digression reaches extreme levels. The compromised condition of mixed forest plantings does not differ from the conditions of background stands. Forest tree species may be ranked according to the worsening of their condition like that: fir = spruce < birch < cedar. Among cedars, tree fallout is the highest (28% on average) and includes dominant trees. According the current fallout proportion, forest edificators are weekly disturbed along the path. No dependence of the conditions of all tree species on the degree of root injuries has been found. The prevalence of diseases and injuries, mainly of tree trunks, does not exceed 10% in all tree species but reaches 78% in cedars. The most hazardous are combinations of trunk injuries (traumas caused by blows + side draughts + trunk rot) in cedars and rust tumors in firs. The conditions of forest plantings (stands) along the tourist path are relatively stable yet require systematic monitoring and eradication of unlicensed pine nut harvesting.

*Keywords:* mountain taiga, Middle Siberia, recreational load, sanitary conditions of plantings, current fallout.

## Введение

Рекреационная деятельность является важной составляющей экосистемных услуг, которые предоставляют природные ландшафты, в том числе покрытые лесом территории [7, 23]. Рекреационное использование лесов становится все более интенсивным в местах традиционного отдыха, захватывает новые лесные массивы, включая ненарушенные насаждения отдаленных территорий [15, 17]. Одна из форм лесной рекреации – экотуризм, который приурочен преимущественно к охраняемым природным лесным территориям и привлекает к себе значительное число людей [17, 22, 24]. Такая туристско-рекреационная деятельность активно развивается в горно-таежных лесах охраняемых природных территорий на юге Средней Сибири.

Рекреационное использование лесов с одной стороны приносит пользу населению, с другой – неизбежно приводит к негативным изменениям в лесах [1, 10, 18]. Длительные и интенсивные рекреационные нагрузки нарушают функциональность всех компонентов лесных экосистем, становятся причиной их дигрессии [8, 9, 13, 25]. В пределах лесных фитоценозов наиболее уязвимы нижние ярусы растительности: живой напочвенный покров, подрост, подлесок [2, 5, 10, 12, 14]. В результате повышенного рекреационного воздействия отмечаются ухудшение жизненного состояния древостоев, снижение доли здоровых и возрастание доли сильно ослабленных и отмирающих деревьев [3, 4, 16, 19]. При туристической рекреации антропогенное воздействие на лесопокрываемых территориях проявляется очень неравномерно [17]. Лесные биогеоценозы наибольшие нагрузки испытывают в местах расположения туристических троп, мест отдыха, стоянок. На таких участках должен осуществляться мониторинг за состоянием лесных насаждений для своевременного принятия решений по повышению их устойчивости, оптимальному обустройству туристско-экскурсионных зон с учетом санитарного состояния древостоев, сохранения естественной природной обстановки [6, 13, 20, 21]. Тем более мониторинговые мероприятия необходимы в пределах особо охраняемых природных территорий, которые выступают центрами сохранения видового разнообразия уникальных экосистем биосферы, изучения их динамики.

Цель данной работы – оценка актуального состояния лесных насаждений на одном из популярных туристических маршрутов на территории Горного лесничества Национального парка «Шушенский бор» (юг Средней Сибири). В соответствии с целью решались следующие задачи: установить степень рекреационной нарушенности насаждений на туристическом маршруте; дать интегральную оценку санитарного состояния древостоя, в том числе по видам древесных пород (элементам леса); оценить влияние антропоген-

ной поврежденности корней на состояние деревьев; выявить основные повреждения, болезни деревьев, определить их распространенность и вредоносность.

## Материалы и методы исследований

Объектом исследований явились лесные насаждения в пределах туристического маршрута на гору «Малый Борус», испытывающие многолетние рекреационные нагрузки. Предмет исследований – текущее санитарное состояние древостоев на туристической тропе.

Полевые работы проводились в середине вегетации 2023 года, включали маршрутное (рекогносцировочное) лесопатологическое обследование насаждений, детальное (инструментальное) обследование древостоя. Рекогносцировочное обследование заключалось в визуальной оценке общего состояния насаждений в пределах и вне тропы, особенностей накопления древесного опада. Рекреационную нарушенность (стадию дигрессии) лесных насаждений в пределах тропы оценивали глазомерно по относительной вытоптанной до минерального горизонта площади живого напочвенного покрова в соответствии с ОСТ 56-100-95<sup>1</sup>: I стадия дигрессии – относительная площадь вытоптанной поверхности напочвенного покрова до 1,0%; II стадия – 1,1–5,0%; III стадия – 5,1–10,0%; IV стадия – 10,1–25,0%; V стадия – более 25,0%.

Детальное лесопатологическое обследование древостоев выполнено на двух характерных по представленности лесных формаций, степени нарушенности лесного фитоценоза (деградации живого напочвенного покрова и оголения корней деревьев) участках тропы. Первый участок тропы – вниз по склону от водораздела (граница между 5 и 8 кварталами) до развилки со своротом на «Водопад», второй – ниже от указанной развилки в сторону начала тропы (рис. 1). Таким образом, обследованием охвачены фрагменты лесных насаждений 38, 33, 32 выделов в границах квартала 8. Характеристика насаждений согласно данным последнего лесоустройства<sup>2</sup> приведена в таблице 1.

На пробных участках проведен сплошной пересчет 80 деревьев с подразделением их по древесным породам (видам), ступеням толщины путем измерения диаметра стволов на высоте 1,3 м, категориям санитарного состояния. Категорию санитарного состояния деревьев определяли в первую очередь по состоянию кроны, а также другим диагностическим признакам<sup>3</sup>:

<sup>1</sup> ОСТ 56-100-95 «Методы и единицы измерения рекреационных нагрузок на лесные природные комплексы». URL: <https://base.garant.ru/2157248>.

<sup>2</sup> Лесохозяйственный регламент лесничества национальный парк «Шушенский бор». URL: <https://clck.ru/3J4Ssx>.

<sup>3</sup> Правила санитарной безопасности в лесах: Утверждены постановлением правительства Российской Федерации от 9 декабря 2020 года № 2047. URL: <https://base.garant.ru/75037636>.

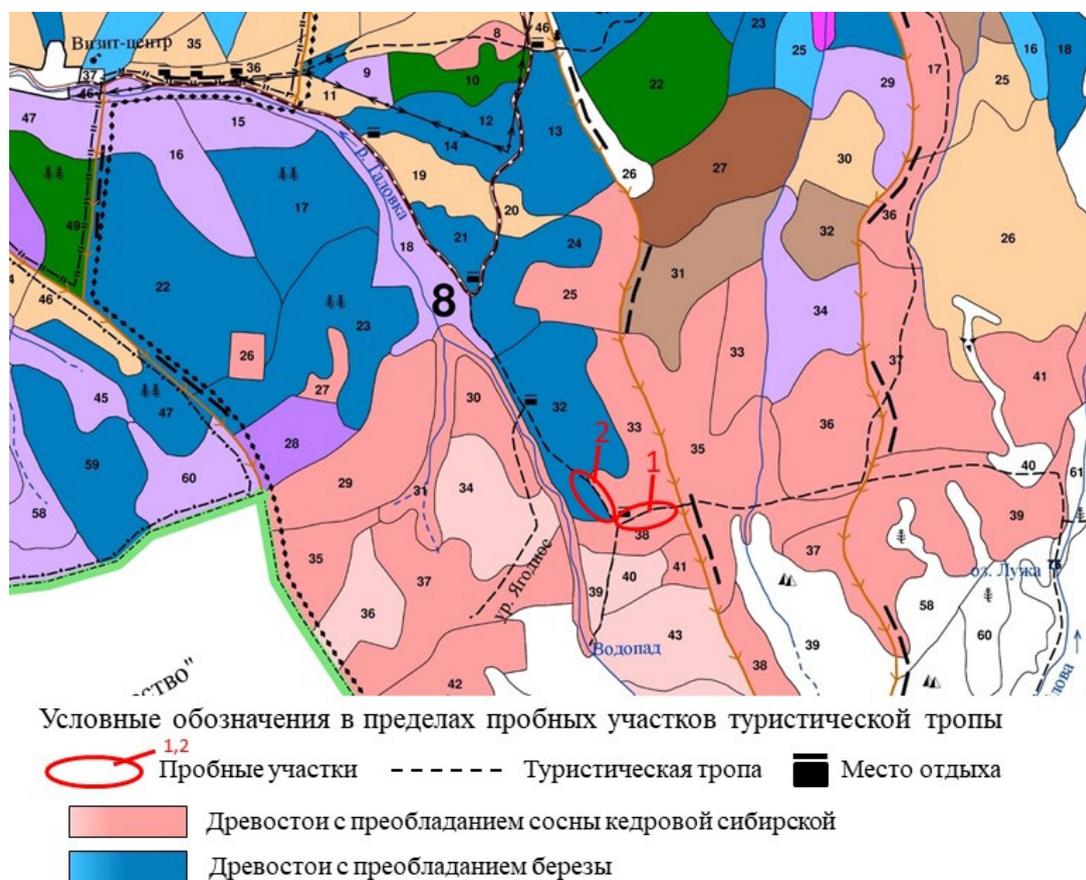


Рис. 1. Фрагменты лесных насаждений, охваченные обследованием на двух участках туристической тропы

Табл. 1

Характеристика насаждений на участках обследования

Участок	Выдел в квартале 8	Лесоводственно-таксационные показатели*	Состав древостоя* (по данным перечета)
Первый	38	Состав древостоя – 3К1Е1П5Б, тип леса – крупнотравно-папоротниковый; средние (по К): возраст – 100 лет, высота – 20 м, диаметр – 26 см; класс бонитета – 3, полнота – 0,5, запас – 240 м <sup>3</sup> /га; подрост: 8П2К (30) 2,0 м, 2,0 тыс. шт./га, благонадежный; подлесок: спирея, редкий.	8К2ЕедБ
	33	Состав древостоя – 4К2С1Е1П2Б, тип леса – щитовниково-зеленомошный; средние (по К): возраст – 110 лет, высота – 21 м, диаметр – 26 см; класс бонитета – 3, полнота – 0,6, запас – 270 м <sup>3</sup> /га; подлесок: спирея, редкий	
Второй	32	Состав древостоя – 6Б1Ос2П1К+С+П, тип леса – крупнотравно-папоротниковый; средние (по Б): возраст – 80 лет, высота – 23 м, диаметр – 26 см; класс бонитета – 2, полнота – 0,7, запас – 200 м <sup>3</sup> /га; подрост: 8П2К (40) 3,0 м, 2,0 тыс. шт./га, благонадежный; подлесок: спирея, средней густоты	5Б2К2П1Е

\* В составе древостоев: буквами обозначены лесообразующие древесные виды (элементы леса), в том числе: К – сосна сибирская кедровая (*Pinus sibirica*); Е – ель сибирская (*Picea obovata*); П – пихта сибирская (*Abies sibirica*); Б – береза повислая (*Betula pendula*); цифрами – доля участия древесной породы в суммарной абсолютной полноте древостоя (1 соответствует 10 %).

1 – без признаков ослабления; 2 – ослабленные; 3 – сильно ослабленные; 4 – усыхающие; 5 – утратившие жизнеспособность, в том числе свежий и старый сухостой. Отмечали наличие механического травмирования стволов и ветвей, пораженность деревьев гнилями, некрозно-раковыми болезнями.

Гнили стволов устанавливали по наличию плодовых тел дереворазрушающих грибов, видимому разрушению древесины с образованием дупла; некрозно-раковые болезни – по наличию специфических новообразований на стволах (язвы, утолщения, скопление укороченных недоразвитых побегов – «ведьмина метла») с возможными репродуктивными образованиями возбудителей. У каждого дерева фиксировали долю (%) оголенных, а также травмированных (с признаками глубоких повреждений) корней в верхнем слое ризосферы.

Санитарное состояние древостоев на исследуемых участках тропы оценивали по следующим показателям, полученным на основе данных лесопатологического перечета: виталитетный спектр (иначе – распределение деревьев по категориям состояния); средневзвешенная величина состояния; параметры отпада. Среднюю величину (индекс) состояния древостоя по каждой породе (элементу леса) рассчитывали через суммы площадей поперечного сечения стволов деревьев на высоте 1,3 м по формуле:

$$K_{cp} = (P_1 \times K_1 + P_2 \times K_2 + P_3 \times K_3 + P_4 \times K_4 + P_5 \times K_5) / 100, \quad (1)$$

где:  $P_i$  – доля деревьев каждой категории состояния, %;  $K_i$  – индекс категории состояния деревьев (1 – без признаков ослабления, 2 – ослабленные, 3 – сильно ослабленные, 4 – усыхающие, 5 – погибшие). При  $K_{cp} \leq 1,5$  древостой в среднем не имеет видимых признаков ослабления;  $1,5 < K_{cp} \leq 2,5$  – древостой в среднем ослаблен;  $2,5 < K_{cp} \leq 3,5$  – сильно ослаблен;  $3,5 < K_{cp} \leq 4,5$  – усыхает;  $K_{cp} > 4,5$  – погибший древостой.

Жизненное состояние древостоя смешанного состава на каждом участке тропы устанавливали в соответствии с вышеприведенными градациями по значению средневзвешенной категории состояния, которую рассчитывали по формуле:

$$K_{cp\text{ взв}} = \sum (D_i \times K_{cp, i}) / 10, \quad (2)$$

где:  $D_i$  – участие древесной породы в составе древостоя, в единицах до 10;  $K_{cp, i}$  – средний индекс состояния деревьев каждой древесной породы [26].

Актуальный состав древостоя на учетных фрагментах тропы определяли по материалам сплошного перечета деревьев через долю каждой породы в абсолютной полноте древостоя (сумме площадей поперечного сечения стволов на высоте 1,3 м, м<sup>2</sup>), приведен в таблице 1.

По величине текущего отпада (усыхающие деревья, свежий сухостой, ветровал, бурелом) судили о степени нарушенности насаждений. Насаждения с на-

личием текущего отпада разделяют на три степени нарушенности: слабая – с наличием текущего усыхания до 10%, средняя – с наличием текущего усыхания 11–30% и сильная – более 30%<sup>4</sup>.

Распространенность болезней деревьев, поврежденных их стволов в древостоях лесообразующих пород определяли по следующей формуле:

$$P = n \times 100 / N, \quad (3)$$

где:  $P$  – распространенность, %;  $n$  – число пораженных (поврежденных) деревьев, шт.;  $N$  – общее число деревьев соответствующей породы на участке, шт.

Вредоносность болезней и повреждений, в том числе при их сочетании, оценивали по значению средневзвешенного индекса состояния, рассчитанному по формуле 1 для соответствующей выборки пораженных (поврежденных) деревьев.

Для выявления связи между изучаемыми показателями деревьев лесообразующих видов, произрастающих в пределах туристической тропы, применяли параметрический критерий корреляции (коэффициент Пирсона –  $R$ ). Расчеты выполнены с использованием пакета программ STATISTICA 10.

## Результаты и обсуждение

Многолетняя тропиночно-пешая форма лесной рекреации привела к нарушению лесных фитоценозов в пределах туристического маршрута. Это отразилось, в первую очередь, на живом напочвенном покрове, который по ходу активного прохождения туристического потока полностью выбит до минерального почвенного горизонта. В результате глазомерной оценки степень рекреационной нарушенности насаждений в пределах тропы по этому признаку (согласно вышеприведенной шкале) соответствует стадиям IV–V дигрессии. В границах всей площади задействованных выделов (лесных биогеоценозов) рекреационная дигрессия насаждений по материалам последнего лесоустройства в пределах стадий I–II.

Состояние эдификатора (древостоя), который считается относительно устойчивым к рекреационным нагрузкам [11], по визуальной оценке с учетом комплекса видимых признаков (состояние филлосферы, наличие фаутов (выщерблин и других механических повреждений) у деревьев, присутствие сухостоя и характер его агрегации и др.) в пределах тропы мало чем отличается от прилегающих, нетронутых интенсивной рекреацией насаждений. На основе материалов детального лесопатологического обследования (перечета) на двух участках тропы выполнен расчет показателей санитарного состояния древостоев, в том числе по элементам леса (лесообразующим видам), которые приведены в таблице 2. По значениям интегрального

<sup>4</sup> Правила санитарной безопасности в лесах: Утверждены постановлением правительства Российской Федерации от 9 декабря 2020 года № 2047. URL: <https://base.garant.ru/75037636>.

показателя ( $K_{\text{ср. взв.}}$ ) общее жизненное состояние древостоев в пределах тропы оценивается как ослабленное.

Состояние представленных в древостоях лесобразующих видов неравнозначно. Худшим состоянием отличается сосна сибирская кедровая (далее – кедр):  $K_{\text{ср.}}$  по породе в выборках – 2,1 (соответствует градации ослабленных древостоев). Об этом свидетельствуют и параметры отпада (совокупность деревьев 4 и 5 категорий состояния), который накапливается из числа средних и крупных экземпляров ценопопуляции, при этом средний диаметр отпада близок к среднему диаметру кедрового элемента леса (табл. 2). Абсолютное доминирование кедра в составе (8 единиц) определило несколько худшее состояние всего древостоя на первом участке.

Наилучшей виталитетной структурой с преобладанием деревьев 1 и 2 категорий состояния (94,4%) характеризуется пихта, которая присутствует во втором ярусе под пологом березово-кедрового яруса на втором участке (табл. 2). Жизненные состояния древостоев березы и ели в среднем одинаковые ( $K_{\text{ср.}}$  около 1,5–1,6 – незначительная ослабленность). Однако в пределах елового элемента леса отмечается отпад деревьев (3–6%) как из числа мелких, так и крупных экземпляров.

В целом степень нарушенности древостоев в пределах тропы является слабой. Такая нарушенность в большей степени относится к кедровому элементу леса; доля текущего древесного отпада (в нашем случае деревья 4-й категории состояния) по кедру ме-

Табл. 2

Показатели санитарного состояния древостоев

Порода	Распределение деревьев (площади поперечного сечения стволов на высоте 1,3 м) по категориям состояния, %					Средний диаметр деревьев, см		$K_{\text{ср.}}$	Формула состава древостоя	$K_{\text{ср. взв.}}$
	1	2	3	4	5	все	отпад			
<b>Участок 1</b>										
К	32,0	43,5	17,8	0	6,7	36,5	32,3	2,1	8К2ЕедБ	2,00
Е	46,8	35,0	12,0	0	6,2	24,0	28,1	1,8		
Б	50,0	50,0	0	0	0	16,0	–	1,5		
<b>Участок 2</b>										
Б	47,2	50,1	2,7	0	0	26,5	–	1,6	5Б2К2П1Е	1,63
К	60,5	11,4	3,0	6,8	18,3	26,6	23,1	2,1		
П	56,8	37,6	4,5	0	1,1	13,5	8,0	1,5		
Е	97,5	0	0	0	2,5	25,3	8,0	1,1		

Табл. 3

Показатели поврежденности поверхностных корней деревьев на тропе

Древесная порода (размер выборки)	Оголено корней, %		Травмировано корней, %	
	Среднее со стандартной ошибкой	Крайние варианты	Среднее со стандартной ошибкой	Крайние варианты
<i>Pinus sibirica</i> (n = 59)	35,86 ± 3,39	0–90	16,63 ± 2,00	0–60
<i>Abies sibirica</i> (n = 31)	20,97 ± 3,59	0–70	13,35 ± 2,34	0–50
<i>Picea obovata</i> (n = 26)	27,31 ± 4,00	0–80	9,08 ± 1,40	0–20
<i>Betula pendula</i> (n = 26)	35,42 ± 3,43	0–70	18,23 ± 2,24	0–40

Табл. 4

Корреляция состояния (индекса состояния) деревьев лесобразующих видов с их размерами и поврежденностью корней

Древесная порода (размер выборки)	Показатели деревьев		
	Диаметр на высоте 1,3 м	Доля оголенных корней	Доля травмированных корней
<i>Pinus sibirica</i> (n = 59)	–0,201* (>0,05)**	–0,128 (>0,05)	–0,027 (>0,05)
<i>Abies sibirica</i> (n = 31)	<b>–0,586 (&lt;0,05)</b>	–0,316 (>0,05)	–0,312 (>0,05)
<i>Picea obovata</i> (n = 26)	–0,231 (>0,05)	–0,160 (>0,05)	–0,213 (>0,05)
<i>Betula pendula</i> (n = 26)	–0,344 (>0,05)	–0,161 (>0,05)	–0,133 (>0,05)

\* – коэффициент корреляции Пирсона; \*\* – уровень значимости.

нее 10%. В числе других элементов леса текущий отпад не выявлен.

Видимые признаки интенсивного воздействия рекреации на древесные растения вследствие хронического выбивания напочвенного покрова и верхнего почвенного горизонта – повреждение верхнего слоя корневых систем. Доля оголенных и травмированных поверхностных корней у деревьев в проекции тропы варьирует от отсутствия признаков повреждения до 90 и 60% соответственно (табл. 3). Наибольшие средние показатели поврежденности корней выявлены у деревьев лесобразующих пород, доминирующих на обследованных участках: кедр и береза. Для деревьев пихты установлена значимая прямая связь диаметра ствола со степенью оголения ( $R = 0,578 (<0,05)$ ) и травмирования ( $R = 0,570 (<0,05)$ ) корней, что указывает на большую поврежденность поверхностных корней у более крупных деревьев. В то же время корреляционный анализ (табл. 4) показал значимую обратную связь индекса состояния деревьев пихты с их диаметром: более высокий жизненный статус у деревьев большего диаметра. По всем анализируемым лесобразующим породам не установлено значимой связи

состояния деревьев с показателями поврежденности поверхностных корней (табл. 4).

В результате детального обследования выявлены повреждения и болезни деревьев (преимущественно стволовой части). Их суммарная распространенность значительна, доля поврежденных (пораженных) деревьев по элементам леса: на кедре – 78% (в том числе случаи сочетанного повреждения (поражения) – 50%), на ели – 14% (5%), на пихте – 37%, березе – 27% (2%) (табл. 5). Таким образом, наибольшей фаутичностью отличаются кедровые древостои.

Наиболее распространены на кедре травмы от околота (способ добычи орехов), сухобокость, стволовая гниль, которые отмечены у половины деревьев (табл. 5). Комплексное их присутствие (встречаемость в разных сочетаниях – 50%) заметно ослабляет деревья. Высокая распространенность стволовой гнили в кедровом древостое (возбудители не идентифицированы из-за отсутствия плодовых тел) – следствие субсенильного возрастного состояния деревьев и наличия многочисленных глубоких поранений стволов, являющихся «воротами» для проникновения ксилотрофных грибов.

Табл. 5

**Показатели проявления повреждений, болезней на деревьях в пределах тропы**

Повреждение, болезнь (с учетом сочетанного проявления)	Распространенность (P, %)	Индекс состояния (K <sub>ср.</sub> )
<i>Pinus sibirica</i> (2,1)*		
Травмы от околота	9,1	1,5
Сухобокость	4,4	1,0
Стволовая гниль	13,2	1,7
Облом вершины, суховершинность	1,9	3,0
Травмы от околота + сухобокость	14,3	1,9
Сухобокость + стволовая гниль	13,2	2,3
Травмы от околота + сухобокость + стволовая гниль	22,1	2,4
Всего	78,2	
<i>Picea obovata</i> (1,5)*		
Облом вершины	2,6	2,0
Сухобокость	6,5	2,0
Облом вершины + сухобокость	5,2	5,0
Всего	14,3	
<i>Abies sibirica</i> (1,5)*		
Сухобокость	21,6	1,1
Опухолевый рак на стволе	5,9	15,1
Опухолевый рак на ветвях, «ведьмина метла»	9,2	
Всего	36,7	
<i>Betula pendula</i> (1,6)*		
Сухобокость	17,5	1,1
Комлевая гниль	2,3	2,0
Язвенный рак	4,6	1,0
Суховершинность + стволовая гниль	2,3	3,0
Всего	26,7	

\* Средний индекс состояния элемента леса (по двум участкам).

У незначительной части деревьев кедра, ели и березы отмечаются повреждения ствола в области филло-сферы (распространенность не более 5%): облом вершины, суховершинность (табл. 5). При этом деревья с такими повреждениями, иногда в сочетании с другими фаутами (стволовая гниль, сухобокость), характеризуются наихудшим жизненным состоянием (сильно ослабленные – утратившие жизнеспособность). Не обширные сухобокости, как результат механического травмирования стволов, встречающиеся на многих деревьях пихты и березы (распространенность 22 и 18% соответственно), не приводят к видимому их ослаблению ( $K_{\text{ср.}}$  поврежденных деревьев – 1,1).

На пихте по специфическим признакам (опухоли на стволах, ветвях, скопления укороченных недоразвитых побегов – «ведьмина метла») установлено типичное для этой породы заболевание – опухоль рак (возбудитель – ржавчинный микромицет *Melampsorella elatina* (Alb. & Schwein. Arthur). Суммарная распространенность (15%) указывает на наличие очагов болезни; пораженные деревья относительно общего состояния элемента леса ( $K_{\text{ср.}} = 1,5$ ) являются ослабленными ( $K_{\text{ср.}} = 2,0-2,2$ ) (табл. 5).

### Заключение

Лесные насаждения на туристическом маршруте на гору «Малый Борус» подвержены многолетним рекреационным нагрузкам. Это обусловило их нарушение (дигрессию), которая в пределах тропы достигает крайних стадий – IV–V.

Жизненное состояние древостоев (смешанные по составу) – ослабленное, визуально не отличается от состояния древостоев в фоновых насаждениях, нетронутых интенсивной рекреационной нагрузкой. По среднему значению интегрального показателя ( $K_{\text{ср.}}$ ) лесобразующие породы по мере ухудшения их жизненного состояния расположились следующим образом: ель, пихта ( $K_{\text{ср.}} = 1,5$  – без признаков ослабления), береза (1,6 – ослабленное), кедр (2,1 – ослабленное).

Наибольшая доля отпада в кедровом элементе леса, который включает деревья первых классов Крафта (доминирующего статуса). При минимальном присутствии текущего отпада (установлен только в кедровой части древостоя – <10%) степень нарушенности эдификаторов леса в пределах тропы можно считать слабой.

Степень оголения и травмирования поверхностных корней деревьев в проекции тропы до 90 и 60% соответственно, у пихты – значимо возрастает с увеличением размера деревьев. Значимой зависимости жизненного состояния деревьев всех лесобразующих видов от поврежденности корней не установлено.

Распространенность деревьев с признаками повреждений, болезней (преимущественно стволов) по всем элементам леса превышает 10%; на кедре составляет 78%, в том числе случаи сочетанной фаутности – 50%. Комплексное (сочетанное) повреждение (поражение) оказывает ослабляющее воздействие на деревья. На пихте выявлен ржавчинный опухоль рак (типичный для этой породы), который имеет очаговое распространение, заметно ослабляет деревья этой породы.

Таким образом, состояние лесных насаждений в пределах туристического маршрута на гору «Малый Борус» относительно стабильное с признаками слабой нарушенности. В дальнейшем следует осуществлять систематический лесопатологический контроль состояния таких насаждений. Для предупреждения повышения фаутности и ухудшения жизненного состояния основного лесобразователя – сосны сибирской кедровой необходимо исключить незаконный промысел ореха.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ на выполнение коллективом научной лаборатории «Защита леса» проекта «Методологические основы оценки лесопатологических рисков в насаждениях юга Средней Сибири» (№ FEFE-2024-0016).*

### Литература

#### Список русскоязычной литературы

1. Алдушина ТВ. Влияние рекреации на состояние сосновых лесов Учебно-опытного лесхоза Брянского государственного инженерно-технологического университета. Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия: Науки о Земле. 2016;2(2):9-14.
2. Грязькин АВ, Кочкин АА, Петрик ВВ. Динамика состава растительности нижних ярусов в парковых фитоценозах. Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2017;6(360):46-55. DOI 10.17238/issn0536-1036.2017.6.46.
3. Данчева АВ, Залесов СВ. Влияние рекреации на состояние сосновых древостоев Казахского мелкосопочника. Аграрный вестник Урала. 2017;5(159):3.
4. Данчева АВ, Залесов СВ, Полторак КА. Современное состояние рекреационных березняков в городе Тюмень (на примере парка «Гилевская

- роща»). Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2024;1(77):19-25.
5. Дымова ТВ, Чуйкова ЛЮ, Чуйков ЮС. Критерии устойчивости и оценка состояния растительности дельты р. Волги под влиянием антропогенного воздействия. Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет»; 2011.
  6. Загидуллин РА. Оценка экологического состояния и повышение устойчивости лесопаркового зеленого пояса города Ульяновска. Актуальные исследования. 2022;35(114):10-5. URL: <https://apni.ru/article/4551-otsenka-ekologicheskogo-sostoyaniya-i-povishe>.
  7. Зиновьева АЕ. К вопросу классификации экосистемных услуг. Известия АО РГО. 2020;1(56):5-13.
  8. Крутов ВИ, Синькевич СМ, Федорец НГ. Рекреационная дигрессия лесных экосистем Валаама и пути ее ограничения. Лесоведение. 2010;(4):34-42. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15120250>.
  9. Некипелова ЕФ, Петрик ВВ, Поташева ЮИ, Куприянова АГ. Влияние рекреационной нагрузки на состояние древесных насаждений лесопарка «Дружба» (г. Владимир). Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2015;5(347):100-10. DOI 10.17238/issn0536-1036.2015.5.100.
  10. Никитченко ЛА. Мониторинг рекреационного воздействия на пригородные леса города Воронеж. Лесотехнический журнал. 2012;4(8):167-71.
  11. Полякова ГА. Рекреация и деградация лесных биогеоценозов. Лесоведение. 1979;(3):70-80.
  12. Примаков НВ, Жовтобрюх МВ. Оценка устойчивости лесных экосистем Черноморского побережья. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2023;(188):174-82.
  13. Прохорова НЛ, Русу ДП. Трансформация насаждений ООПТ парка «Северный лес» под влиянием антропогенного фактора. В кн.: Синтез науки и образования в решении экологических проблем современности: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню охраны окружающей среды, Воронеж, 03 июня 2022 года. Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова; 2022. С. 171-9.
  14. Реуцкая ВВ, Гапоненко АВ. Воздействие рекреационных нагрузок на лесные экосистемы Усманского бора. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015;9(131):82-6.
  15. Рысин ЛП, Савельева ЛИ, Рысин СЛ. Мониторинг лесов на урбанизированных территориях. Экология. 2004;(4):243-8.
  16. Сивцов СА, Турчин ТЯ. Рекреационная дигрессия пойменных лесов музея-заповедника М.А. Шолохова. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015;11(133):70-6.
  17. Сомова ЕГ, Осипов СВ. Опыт оценки и мониторинга рекреационного воздействия на лесные экосистемы (на примере района Кравцовских водопадов). Сибирский лесной журнал. 2020;(1):16-27.
  18. Тарасов АИ. Экономика рекреационного лесопользования. М.: Наука; 1980.
  19. Татаринцев АИ, Кулакова НН. Санитарное состояние рекреационных сосняков в подтаежных лесах пригорода Красноярска. Биосфера 2023;15(4):349-57. DOI: 10.24855/biosfera.v15i4.865.
  20. Ширяева НВ, Скрипник ИА, Никифоров ДН. Санитарное состояние насаждений и мероприятия по их оздоровлению в зоне строительства объектов Олимпиады. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2012;(200):241-52.
  21. Шугалей ЛС. Рекреационное воздействие на лесные биогеоценозы государственного природного заповедника «Столбы». Вестник КрасГАУ. 2017;(132):189-99.

#### Общий список литературы/References List

1. Aldushina TV. [The influence of recreation on the condition of pine forest of scientific-experimental forestry enterprise of Bryansk State Engineer-Technological University]. Vestnik Severo-Vostochnogo Federalnogo Universiteta imeni M.K. Ammosova Seriya Nauki o Zemle. 2016;2(2):9-14. (In Russ.)
2. Gryaz'kin AV, Kochkin AA, Petrik VV. [Dynamics of understory vegetation structure in park phytocenoses]. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy Lesnoy Zhurnal. 2017;6(360):46-55. DOI 10.17238/issn0536-1036.2017.6.46. (In Russ.)
3. Dancheva AV, Zalesov SV. [Influence of recreation loads on pine forests condition of Kazakh uplands]. Agrarnyy Vestnik Urala. 2017;5(159):3. (In Russ.)
4. Dancheva AV, Zalesov SV, Poltorak KA. [Current state of recreational birch stands in Tyumen (exemplified with the park 'Gilevskaya Roscha)]. Vestnik Izhevskoy Gosudarstvennoy Selskohozyajstvennoy Akademii. 2024;1(77):19-25. (In Russ.)
5. Dymova TV, Chuykova LYu, Chuykov YuS. Kriterii Ustoychivosti I Otsenka Sostoyaniya Ras-

- titelnosti delty r. Volgi pod Vliyaniyem Antropogennogo Vozdeystviya. [Sustainability Criteria and the Assessment of Vegetation Condition of Volga River Delta under Anthropogenic Impact]. Astrakhan: Astrakhanskiy Universitet»; 2011. (In Russ.)
6. Zagidullin RA. [Assessment of ecological condition and increase of sustainability of forest-park green belt of Ulyanovsk]. Aktualnye Issledovaniya. 2022;35(114):10-5. URL: <https://apni.ru/article/4551-otsenka-ekologicheskogo-sostoyaniya-i-povishe>. (In Russ.)
  7. Zinovyeva AYe. [On classification of ecosystem services]. Izvestiya AO RGO. 2020;1(56):5-13. (In Russ.)
  8. Krutov VI, Sinkevich SM, Fedorets NG. [Recreation-induced digression of forest ecosystems in Valaam and approaches to its mitigation]. Lesovedeniye. 2010;(4):34-42. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15120250>. (In Russ.)
  9. Nekipelova YeF, Petrik VV, Potasheva YuI, Kupriyanova AG. [The impact of recreational load on the state of the undergrowth of the main forest species in the forest park «Druzhba» in Vladimir]. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy Lesnoy Zhurnal. 2015;5(347):100-10. DOI 10.17238/issn0536-1036.2015.5.100. (In Russ.)
  10. Nikitchenko LA. [Monitoring of recreational impact on suburban woods of Voronezh]. Lesotekhnicheskii Zhurnal. 2012;4(8):167-71. (In Russ.)
  11. Polyakova GA. [Recreation and degradation of forest biogeocenoses]. Lesovedeniye. 1979;(3):70-80. (In Russ.)
  12. Primakov NV, Zhovtobryukh MV. [Assessment of the sustainability of forest ecosystems of the Black Sea coast]. Politematicheskii Setevoy Elektronnyy Nauchnyy Zhurnal Kubanskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta. 2023;(188):174-82. (In Russ.)
  13. Prokhorova NL, Rusu DP. [Transformation of plants of Severny Les park under the influence of the anthropogenic factor]. In: Sintez Nauki i Obrazovaniya v Reshenii Ekologicheskikh Problem Sovremennosti: Materialy Mezhdunarodnoy Nauchno-Prakticheskoy Konferentsii, Posviashchionnoy Vsemirnomu Dniu Okhrany Okruzhayushchey Sredy. Voronezh: Voronezhskiy Gosudarstvennyi Lesotekhnicheskii Universitet im. G.F. Morozova; 2022. P. 171-9. (In Russ.)
  14. Reutskaya VV, Gaponenko AV. [The influence of recreational impact on the forest ecosystems of the Usman pine forest]. Vestnik Altayskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta. 2015;9(131):82-6. (In Russ.)
  15. Rysin LP, Savelyeva LI, Rysin SL. [Forest monitoring in urbanized areas]. Rus J Ecol. 2004;35(4):209-13.
  16. Sivtsov SA, Turchin TYa. [Recreational digression of floodplain forests of the National Sholokhov Museum-Reserve]. Vestnik Altayskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta. 2015;11(133):70-6. (In Russ.)
  17. Somova EG, Osipov SV. [Experience in evaluating and monitoring the recreational impact on forest ecosystems (on the example of a coniferous-broadleaf forest surrounding Kravtsovskiy waterfalls)]. Sibirskiy Lesnoy Zhurnal. 2020;(1):16-27. (In Russ.)
  18. Tarasov AI. Ekonomika Rekreacionnogo Lesopolzovaniya. [Economics of Recreational Forestry]. Moscow: Nauka; 1980. (In Russ.)
  19. Tatarintsev AI, Kulakova NN. [The sanitary condition of recreational pineries in sub-taiga forests of Krasnoyarsk suburbs]. Biosfera 2023;15(4):349-57. DOI: 10.24855/biosfera.v15i4.865. (In Russ.)
  20. Shiriayeva NV, Skripnik IA, Nikiforov DN. [Sanitary condition of forest stands and suggestions for its improvement in the construction zone of the Olympic Games 2014]. Izvestiya Sankt-Peterburgskoy Lesotekhnicheskoy Akademii. 2012;(200):241-52. (In Russ.)
  21. Shugaley LS. [Recreational impact on forest biocenoses of State Nature Reserve «Stolby»]. Vestnik KrasGAU. 2017;(132):189-99. (In Russ.)
  22. Cvetkovic M, Brankov J, Curcic N, Pavlovic S, Dobricic M, Tretiakova TN. Protected natural areas and ecotourism – priority strategies for future development in selected Serbian case studies. Sustainability. 2023;(15):15621. DOI: 10.3390/su152115621.
  23. Saklaurs M, Libiete Z, Donis J, Kitenberga M, Elferts D, Jurmalis E, Jansons A. Provision of ecosystem services in Riparian hemiboreal forest fixed-width buffers. Forests. 2022;(13):928. DOI: 10.3390/f13060928.
  24. Sisriany S, Furuya K. Understanding the spatial distribution of ecotourism in Indonesia and its relevance to the protected landscape. Land. 2024;(13):370. DOI: 10.3390/land13030370.
  25. Zhang X, Hu H, Wang X, Tian Q, Zhong X, Shen L. Plant community degradation inquiry and ecological restoration design in South Lake Scenic Area of China. Forests. 2023;(14):181. DOI: 10.3390/f14020181.

# ДИНАМИКА ОЧАГОВ КВАРАНТИННЫХ НАСЕКОМЫХ-ВРЕДИТЕЛЕЙ В ГРАНИЦАХ ЛЕСНОГО ФОНДА КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

В.В. Попова\*, П.А. Федонова, С.М. Сультсон,  
Н.Н. Кулакова, П.В. Михайлов

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева,  
Красноярск, Россия

\*Эл. почта: Valpx@bk.ru

Статья поступила в редакцию 24.03.2025; принята к печати 10.04.2025

Проведен обобщенный анализ динамики очагов карантинных видов вредителей на территории Красноярского края с целью выявления основных проблем и тенденций в лесопатологическом состоянии лесов региона. Установлено, что в период с 2007 по 2023 год среди карантинных видов вредителей к масштабным нарушениям лесных экосистем на уровне региона приводят сибирский шелкопряд и уссурийский полиграф. В структуре лесного фонда региона присутствуют значительные площади поврежденных и погибших древостоев, что ухудшает санитарное состояние лесов и предполагает высокий риск возникновения лесных пожаров. Обозначены законодательные проблемы, препятствующие своевременному устранению последствий гибели лесов и работ по восстановлению леса. Для решения этих проблем и улучшения ситуации необходимы корректировки методик ведения Государственного лесопатологического мониторинга с учетом региональных особенностей территории.

**Ключевые слова:** карантинные виды, государственный лесопатологический мониторинг, санитарное состояние лесов, очаги вредных организмов, вторичные вредители.

## DYNAMICS OF PEST FOCI SUBJECTED TO QUARANTINE SURVEILLANCE WITHIN THE FOREST RESOURCE BORDERLINES OF KRASNOYARSK REGION

V.V. Popova\*, P.A. Fedonova, S.M. Sultson, N.N. Kulakova, P.V. Mikhaylov  
M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technologies, Krasnoyarsk, Russia

\* Email: Valpx@bk.ru

To find out major problems and trends in the pathological conditions of forests in Krasnoyarsk Region, an integrated analysis of dynamics of pest foci subjected to quarantine surveillance has been carried out. In the years 2007 through 2023, the most massive deteriorations of sylvan ecosystems were caused by the Siberian silk moth *Dendrolimus sibiricus* Tschetverikov, 1908 and four-eyed fir bark beetle *Polygraphus proximus* Blandford, 1894. Vast areas of damaged and dead tree stands in the region worsen the sanitary conditions of forests and increase the risk of forest fires. The legislative problems that hamper timely amelioration of the sequences of forest losses and prevent taking measures for forest restoration are delineated. To improve the situation, State Forest Pathology Monitoring needs corrections accounting for regional specificity.

**Keywords:** species subjected to quarantine surveillance, State Forest Pathology Monitoring, sanitary conditions of forests, pest foci, secondary pests.

### Введение

Россия является одним из крупнейших экспортеров древесины, отправляя ежегодно около 25–27 млн м<sup>3</sup> лесопродукции в более чем 50 стран мира<sup>1</sup>.

В Красноярском крае общая площадь лесов составляет 164 млн га, из них 158,7 млн га – это леса государственного лесного фонда, из которых покрытые лесом земли составляют 105 млн га. Основными

видами древесных пород, формирующими лесной фонд Красноярского края, являются лиственница (43,7 млн га), береза (15,5 млн га), сосна (13,2 млн га) и кедр (9,7 млн га). Хвойные насаждения составляют 75,8% лесистой зоны. По данным государственного лесного реестра общий объем древесины на землях лесного фонда составляет 11 307,47 млн м<sup>3</sup> <sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Официальный сайт Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации. URL: [https://www.mnr.gov.ru/activity/regions/krasnoyarskiy\\_kray/](https://www.mnr.gov.ru/activity/regions/krasnoyarskiy_kray/)

<sup>1</sup> Официальный сайт ФГБУ «Рослесинфорг». URL: <https://roslesinforg.ru>

Красноярский край входит в тройку лидеров по объему экспорта лесной продукции. Так в 2023 году из Красноярского края на экспорт было отправлено порядка 3,7 млн м<sup>3</sup> лесопродукции в 16 стран мира. Основным импортером является Китай<sup>1</sup>.

Торговля лесом и лесоматериалами связана с предупреждением их зараженности вредителями и болезнями. В связи с этим одной из важнейших проблем является лесопатологическое состояние насаждений. Оно характеризуется комплексом признаков: наличием очагов вредных организмов (вредителей и болезней), их численностью, площадью и степенью повреждения (поражения) древостоев. Все это определяется на основании данных государственного лесопатологического мониторинга (ГЛПМ) и лесопатологических обследований<sup>3</sup>.

По степени угрозы для лесов с учетом экономического ущерба все вредные организмы подразделяют на карантинные и некарантинные виды. Многие страны разработали карантинные перечни, которые включают множество видов вредителей и возбудителей болезней леса. На уровне РФ также существует список карантинных видов [1].

При ведении ГЛПМ используется Единый перечень карантинных объектов Евразийского экономического союза (ЕАЭС), принятый Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 30.11.2016 № 158<sup>4</sup>. На территории России наиболее распространенными по численности и площадям установленных фитосанитарных зон являются 14 видов вредителей лесных и лесодекоративных культур, отнесенных к карантинным объектам<sup>5</sup>. Одиннадцать видов являются аборигенными для России (или ее отдельных регионов), шесть широко распространены по территории Российской Федерации, занимая от 40 до 80% ареалов пород, отвечающих пищевой специализации насекомых-вредителей<sup>6</sup>.

В данной работе проведен обобщенный анализ динамики очагов карантинных видов вредителей на территории Красноярского края с целью выявления основных проблем и тенденций в лесопатологическом состоянии лесов региона.

<sup>3</sup> Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 9.11.2020 № 910 «Об утверждении Порядка проведения лесопатологических обследований и формы акта лесопатологического обследования». URL: <https://docs.cntd.ru/document/573140196>.

<sup>4</sup> Решение Совета Евразийской Экономической Комиссии от 30.11.2016 № 158 «Об утверждении Единого перечня карантинных объектов Евразийского Экономического Союза» с изменениями на 25.01.2023». URL: <https://docs.cntd.ru/document/456047397>.

<sup>5</sup> Национальный доклад Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору «О карантинном фитосанитарном состоянии территории Российской Федерации». М.: Федеральная служба по ветеринарному и фитосанитарному надзору «РОССЕЛЬХОЗНАДЗОР»; 2022. <https://gog.su/HWKD>.

<sup>6</sup> Обзор санитарного и лесопатологического состояния лесов Российской Федерации. М.: Федеральное агентство лесного хозяйства России «Рослесхоз»; 2023. <https://gog.su/apuR>.

## Материалы и методы

В основу исследования положены данные реестра лесных участков, на которых действуют очаги вредных организмов, представленные в открытом доступе на сайте Федерального агентства лесного хозяйства России «Рослесхоз»<sup>7</sup> на территории Красноярского края в период с 2007 по 2023 год. Данные были проанализированы на конец отчетного года. Ведение реестра ГЛПМ осуществляется в соответствии с нормативными требованиями, установленными Приказом Рослесхоза от 31.05.2023 № 706 «Об утверждении порядка ведения реестров государственного лесопатологического мониторинга» (далее – Приказ Рослесхоза)<sup>8</sup>.

Необходимо отметить, что с 2023 года информация по мониторингу основана только на данных наземных наблюдений. Согласно Приказу Рослесхоза, данные повреждений, выявленные дистанционными методами, не могут включаться в официальную отчетность без наземной верификации в связи с тем, что на их основе не представляется возможным установить причину повреждения насаждений и с высокой достоверностью оценить степень их ослабления<sup>8</sup>.

## Результаты и обсуждение

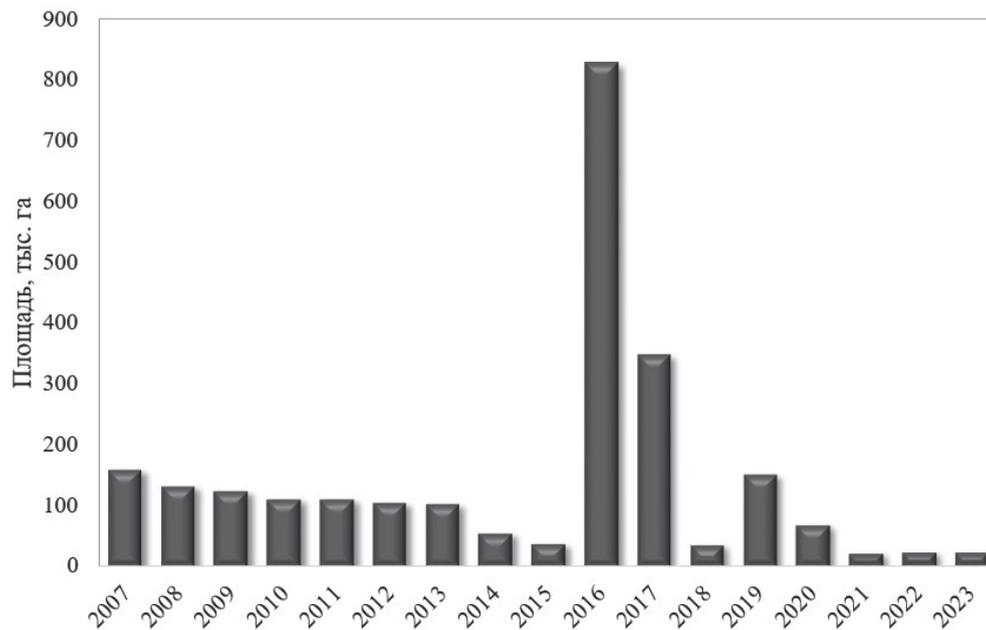
По данным реестра ГЛПМ на территории Красноярского края в исследуемый период были обнаружены следующие карантинные виды вредителей: шелкопряд сибирский (*Dendrolimus sibiricus* Tschetverikov), шелкопряд непарный (*Lymantria dispar asiatica* Vnukovskij), усач черный еловый (пихтовый) большой (*Monochamus urusovi* Fischer v. Waldheim), усач черный еловый малый (*Monochamus sutor* Linnaeus), усач черный сосновый (*Monochamus galloprovincialis* Olivier) и полиграф уссурийский (*Polygraphus proximus* Blandford).

На рисунке 1 представлена общая динамика площадей очагов вредных организмов, отнесенных к карантинным видам с 2007 по 2023 год. В 2016 году наблюдалась максимальная площадь очагов (827,4 тыс. га), к концу 2017 года произошло их резкое сокращение, в последние годы (2021–2023) площади очагов относительно стабильны и не превышают 25 тыс. га. Поскольку в последние годы данные базируются только на наземных наблюдениях, информация отражает несколько искаженную характеристику действительной ситуации, что является отрицательной стороной действующей системы мониторинга.

Наибольшую опасность для хвойных лесов Красноярского края представляют сибирский шелкопряд

<sup>7</sup> Результаты государственного лесопатологического мониторинга. Федеральное агентство лесного хозяйства России «Рослесхоз». URL: [https://rosleshoz.gov.ru/activity/forest\\_security\\_and\\_protection/stat](https://rosleshoz.gov.ru/activity/forest_security_and_protection/stat).

<sup>8</sup> Приказ Федерального агентства лесного хозяйства «Рослесхоз» от 31.05.2023 № 706 «Об утверждении порядка реестров государственного лесопатологического мониторинга». URL: <https://gog.su/knLw>.



**Рис. 1.** Общая площадь очагов вредных организмов, отнесенных к карантинным объектам в период с 2007 по 2023 год

[21] и полиграф уссурийский [6], которые приводят к масштабным нарушениям лесных экосистем, что сопровождается частичной или полной утратой эколого-экономических функций [7, 10, 19]. Кормовую базу для них составляют темнохвойные формации, предпочтительнее пихтовые и кедровые древостои. Сибирский шелкопряд является аборигенным вредителем. Вспышки его массового размножения носят циклический характер, они возникают в среднем каждые 10–15 лет и обусловлены погодными условиями [11].

Наряду с сибирским шелкопрядом, эруптивным фитофагом, наносящим меньший ущерб лесам региона, является непарный шелкопряд. Следует отметить, что с 2019 года этот вид был исключен из списка карантинных вредителей по неизвестным причинам. Непарный шелкопряд повреждает около 300 видов растений, лиственных и хвойных. Наибольшую опасность вредитель представляет для темнохвойных насаждений [8, 15, 17]. В случае значительного объеда крон деревьев (более 75%) гусеницами непарного шелкопряда происходит сильное ослабление насаждений с последующими вспышками массового размножения вторичных вредителей [18].

Данные площадей очагов сибирского и непарного шелкопряда представлены в таблице 1.

За последние семнадцать лет на территории Красноярского края были зафиксированы несколько очагов массового размножения сибирского шелкопряда.

Первый очаг зафиксирован в 2015 году на территории Енисейского лесничества на площади 21 тыс. га. К концу 2016 года наблюдался наибольший прирост

площади зоны повреждения. На территории трех лесничеств было поражено порядка 832,4 тыс. га (Енисейское – 631,5 тыс. га; Нижне-Енисейское – 200,7 тыс. га и Северо-Енисейское – 0,2 тыс. га). В 2017 году новые очаги были выявлены в пяти лесничествах края, наибольший прирост наблюдался на территории следующих лесничеств: Северо-Енисейское (241,1 тыс. га), Нижне-Енисейское (209,7 тыс. га) и Енисейское (102,1 тыс. га), наименьший прирост – в Мотыгинском (0,4 тыс. га) и Тюхтетском (0,2 тыс. га) лесничествах. К концу 2018 года очаг полностью затух благодаря проведенным санитарно-оздоровительным мероприятиям (СОМ) (1079,6 тыс. га ~80 %) и естественным факторам (281,5 тыс. га ~20 %).

Второй очаг выявлен в 2019 году на площади 123,4 тыс. га, из них 108,2 тыс. га в Ирбейском лесничестве и 15,2 тыс. га в Саянском лесничестве. В 2020 году прирост очагов незначителен, равен 8,4 тыс. га в Ирбейском лесничестве. На площади более 110 тыс. га были проведены по итогу, 94 тыс. га из них были ликвидированы. Еще 35 тыс. га затухло под воздействием естественных факторов в 2021 году. И к концу 2022 года данный очаг прекратил свое существование.

Проблема связана с тем, что темнохвойные породы более уязвимы к воздействию сибирского шелкопряда из-за низкой устойчивости к потере хвои. При дефолиации более 75% они практически полностью погибают. Отпад стволов начинается на четвертый-пятый год после дефолиации деревьев, достигая максимума еще через 3–5 лет [14]. После гибели древостоя на

Табл. 1

**Площади очагов сибирского и непарного шелкопряда, выявленных в Красноярском крае с 2007 по 2023 год**

Год	Площади очагов, га					
	На начало отчетного года	Выявлено за отчетный год	Проведено мероприятий за отчетный год	Ликвидировано проведенными мероприятиями за отчетный год	Затухло под воздействием естественных факторов	На конец отчетного года
Шелкопряд сибирский <i>Dendrolimus sibiricus</i> Tschetverikov						
2015	–	21033,6	–	–	–	21033,6
2016	21033,4	832363,6	28085,2	28085,2	21480,3	803831,5
2017	803831,5	553463,4	887729,1	887729	144165	325401
2018	325401	–	192192,2	189701	135700	–
2019	–	123 420,1	–	–	–	123 420,1
2020	123 420,1	8407,3	110 921,6	94 431,6	–	37 395,8
2021	37 395,8	–	–	–	35 105,8	2290,0
2022	2290,0	–	–	–	2290,0	–
Шелкопряд непарный <i>Lymantria dispar asiatica</i> Vnukovskij						
2015	–	792	–	–	–	792
2016	792	1961	–	–	792	1961
2017	1961	–	–	–	–	1961
2018	1961	–	–	–	–	1961
2019	1961	–	–	–	1961	=

Табл. 2

**Площади очагов полиграфа уссурийского *Polygraphus proximus* Blandford, выявленных в лесах Красноярского края в 2007–2023 годах**

Год	Площади очагов, га					
	На начало отчетного года	Выявлено за отчетный год	Проведено мероприятий за отчетный год	Ликвидировано проведенными мероприятиями за отчетный год	Затухло под воздействием естественных факторов	На конец отчетного года
2009	634,5	1318,1	–	–	–	1952,6
2010	1952,6	167	7,3	7,3	–	2112,3
2011	2112,3	300	11,7	11,7	175	2225,6
2012	2225,6	199,7	34,7	34,7	362,5	2028,1
2013	2028,08	6592,14	39,4	39,4	1119,1	7461,72
2014	7461,72	2167,2	963,3	963,3	228	8437,62
2015	8437,62	1240,1	183,34	183,34	1302,4	8191,98
2016	8191,98	3335,1	270,2	270,2	938,46	10318,42
2017	10318,42	523,5	604,6	604,6	78	10159,32
2018	10159,32	14637,2	1311,2	1311,2	746,7	22738,62
2019	22 738,6	6341,7	5258,0	5258,0	484,0	25 386,9
2020	25 386,9	10 811,1	7595,9	7595,9	2421,8	26 180,3
2021	26 180,3	6660,3	7004,7	7004,7	9634,2	16 201,7
2022	16 201,7	8482,6	1518,1	1518,1	1964,6	21 201,6
2023	21 201,6	5255,6	2218,1	2218,1	2289,7	21 949,4

месте шелкопряда формируются низкополнотные молодняки с преобладанием березы. При этом чем больше площадь насаждений, пораженных шелкопрядом, тем медленнее возобновляется лес. Наличие в шелкопрядах больших запасов горючих материалов приводит к увеличению риска лесных пожаров, которые, в свою очередь, являются основным препятствием к лесовозобновлению [13].

Вспышка непарного шелкопряда на территории края была зафиксирована в 2015 году в Усинском лесничестве на площади 792 га, уже в 2016 году данный очаг затух под воздействием естественных факторов, но в этом же лесничестве возникли на общей площади 1961 га два новых очага, которые затухли в 2019 году.

В настоящее время наибольшую опасность для сибирской темнохвойной тайги представляет полиграф уссурийский – инвазивный вредитель дальневосточного происхождения. Инвайдер повреждает пихтовые насаждения, в основном ослабленные. Площади очагов полиграфа уссурийского, выявленные в границах лесов Красноярского края, представлены в таблице 2.

В Красноярском крае инвазивный жук-короед был выявлен сравнительно недавно (2009 год) на территории трех лесничеств: Козульское – 724,5 га, Ачинское – 753,5 га, и Боготольское – 474,6 га. С каждым годом площадь очагов возрастала, следующая значительная вспышка произошла в 2013 году, площадь выявленных очагов составила 6592,1 га, наибольшие очаги выявлены в Ачинском – 1080 га, Козульском – 932 га и Назаровском – 1560 га лесничествах, к концу года полиграф уже распространен в 12 лесничествах края на площади 7461,7 га. Следующие четыре года площадь вновь выявленных очагов не превышала 3 тыс. га, тем самым площадь очагов к концу года значительно не менялась. Однако в 2018 году выявлены новые очаги на площади 14637,2 га, из них в Пировском и Таежинском лесничествах – 34,3 и 27,9%. Таким образом в 2018 году очаги распространились на 22 лесничества края с общей площадью 22738,6 га. К концу 2020 года площадь очагов возросла до 26180,3 га на территории 30 лесничеств региона, а в 2021 году она снизилась до 16201,7 га благодаря ежегодно проводимым СОМ, а также затуханию очагов под воздействием естественных факторов. В 2022 году очаги массового размножения уже числились в 32 лесничествах, новые очаги выявлены на площади 8482,6 га. Площади поврежденных насаждений продолжали стабильно возрастать и на конец 2023 года составляли 21949,4 га на территории 31 лесничеств.

Массовая гибель пихтовых древостоев после воздействия полиграфа уссурийского связана с заражением деревьев офиостомовыми грибами, после которых начинается формирование некротических участков в лубе, что приводит к ослаблению деревьев. В результате в течение относительно короткого периода ин-

вазивный тандем «короед-гриб» охватил обширные территории пихтовых насаждений и стал существенным фактором изменения таежных ландшафтов [3].

Средний темп усыхания пихт (переход их в состояние свежего сухостоя) в очагах составляет примерно 7% деревьев в год [4]. В очагах наблюдалось катастрофическое увеличение текущего отпада пихты, в сравнении с естественным по количеству деревьев в 3–8 раз, а по запасу – в 6–12 раз [2], что свидетельствует о значительном разрушении пихтовых насаждений под воздействием вредителя.

Изменения в пологе леса, вызванные полиграфом, приводят к трансформации травяного и мохового покровов, а также изменению микроклиматических условий, что оказывает непосредственное влияние на подрост пихты. Усыхающие деревья и свежий сухостой становятся привлекательными для других вредителей и грибов, что ухудшает санитарное состояние леса. Помимо влияния на санитарное состояние насаждений усохшие деревья приводят к накоплению горючего материала и повышению риска возникновения пожаров. После них темнохвойные насаждения полностью погибают в течение четырех лет [2].

Среди аборигенных карантинных видов вредоносными техническими вредителями хвойных пород являются жуки-усачи из рода *Monochamus*. В основном они предпочитают ослабленные, отмирающие и усохшие деревья [16]. В процессе дополнительного питания они повреждают кору молодых ветвей и побегов и тем самым вызывают изреживание крон, при этом резко снижаются защитные свойства поврежденных деревьев [5, 9, 20]. Данные о площадях очагов жуков-усачей рода на территории региона представлены в таблице 3.

Наибольший вред приносят черные еловые усачи (большой и малый). Возникнув раз в ельниках и пихтачах, очаги этих вредителей могут существовать неопределенно долгое время и в большинстве своем затухают лишь в случае, когда не остается деревьев, пригодных для развития личинок. Причиной медленного затухания очагов может быть недостаточное количество естественных врагов, которые питаются личинками и имаго усачей [12].

В Красноярском крае очаги массового размножения большого черного елового усача на конец 2007 года распространены на территории 33 лесничеств на площади 153,1 тыс. га, наибольшие по площади в Усольском (24,4%), Мотыгинском (22,9%) и Ирбейском (22,9%) лесничествах. В 2008 году новые очаги выявлены на площади 15,5 тыс. га в трех лесничествах, где ранее очаги не были выявлены: Боготольское (2,4%), Верхне-Манское (1%) и Ермаковское (20,3%). В последующие годы новые выявленные очаги не превышали 3,8 тыс. га (2016 год). С каждым годом площадь очагов сокращалась. В большей мере это происхо-

дило за счет затухания очагов по естественным причинам. Так в 2008 году под действием естественных факторов произошло затухание очагов на площади 49,9 тыс. га, наибольшие очаги затухли в Усольском (35,6 тыс. га), Мотыгинском (8,5 тыс. га) и Ирбейском (5,3 тыс. га) лесничествах. Также большие площади затухания были выявлены в 2014 (49,5 тыс. га) и 2015 (34,5 тыс. га) годах. По итогу на конец 2015 года данный усач был распространен в 13 лесничествах региона на общей площади 4,6 тыс. га. К концу 2018 года площадь очагов возросла до 5,4 тыс. га (на территории 9 лесничеств), за счет вновь выявленных очагов на территории Гремучинского лесничества (3,5 тыс. га) в 2016 году. Затем площадь очагов продолжила сокращаться, несмотря на вновь выявленные очаги, и к концу 2023 года площадь очагов составила 1,7 тыс. га на территории 13 лесничеств. Также в данный период проводились СОМ, но значительного вклада в уменьшение очагов данного вида они не внесли, площадь их варьировала в пределах от 0,01 тыс. га (2017) до 3,4 тыс. га (2007 год).

При сравнении с большим черным еловым усачом очаги малого черного елового усача на территории края были распространены на незначительных площадях. По данным реестра<sup>7</sup> выявлены они в 2007 году на территории края в 5 лесничествах (Богучанское (2,4%), Гремучинское (3,9%), Таежинское (87%), Тюхтетское (3,8%) и Чунское (2,9%)) на площади 103,2 га. В 2008 и 2009 годах новые очаги обнаружены не были, а благодаря проведению СОМ площадь очагов сократилась на 7,8 и 44 га соответственно. Таким образом, очаги полностью ликвидированы в Богучанском и частично Таежинском лесничествах. В 2010 году обнаружены новые очаги в Манском (14,9 га) лесничестве, которые ликвидировали в 2011 году вместе с частью очагов Таежинского (4,9 га) лесничества. В 2012 году выявлены новые очаги в Чунском (20 га) лесничестве, часть из которых (11,4 га) в 2015 году ликвидированы по ходу СОМ, а часть (1,5 га) затухла по естественным причинам, также произошло полное затухание очагов на территории Гремучинского (4 га), Таежинского (20 га) и Тюхтетского (4 га) лесничеств. Оставшиеся очаги в Чунском лесничестве на площади 8,6 га затухли под воздействием естественных причин в 2016 году. С 2017 года очаги данного вредителя в реестре ГЛПМ отсутствуют.

Для насаждений сосны обыкновенной одним из вредоносных видов рода *Monochamus* является черный сосновый усач. По имеющимся данным в Красноярском крае на начало 2007 года уже были зафиксированы очаги черного соснового усача на территории семи лесничеств на площади 1,5 тыс. га. С учетом вновь возникших и ликвидированных в этом году очагов их площадь на конец года составила 5,2 тыс. га на территории 14 лесничеств края; наибольшие очаги – в

Терянском (26%), Кодинском (22%) и Чунском (17%) лесничествах. На протяжении шести лет площадь очагов практически не менялась, достаточно резко возросла площадь в 2013 году, так как в 6 лесничествах возникли новые очаги на площади 2,6 тыс. га. Уже в 2015 году произошло резкое снижение площади очагов за счет проведения СОМ (0,6 тыс. га) и затухания очагов по естественным причинам (3,7 тыс. га), полностью очаги ликвидированы и затухли в Гремучинском и Саянском лесничествах, однако уже в 2016 году в Гремучинском лесничестве выявлены новые очаги на площади 5,4 тыс. га, еще 0,05 тыс. га очагов выявлены в Усольском лесничестве. В этот же год на территории 9 лесничеств по естественным причинам затухли очаги на площади 1,5 тыс. га, полностью очаги затухли в Терянском (73,4%), Сухобузимском (2,7%), Северо-Енисейском (6,8%) и Кодинском (1,9%) лесничествах. К концу 2016 года очаги данного вредителя по данным реестра выявлены в 10 лесничествах края на площади 6,1 тыс. га, наибольшие по площади очаги сосредоточены в Гремучинском лесничестве (89%). На протяжении трех лет существенных изменений в площадях очагов не наблюдалось, затем в 2019 году произошло затухание очагов под воздействием естественных факторов на площади 5,2 тыс. га (Гремучинское (99,8%) и Невонское (0,2%)). В следующем году новые очаги выявлены на площади 0,6 тыс. га в Гремучинском (79,5%), Иланском (10,8%), Кодинском (2,6%) и Терянском (7,1%) лесничествах. В 2021 году на территории Гремучинского, Иланского, Кодинского и Терянского лесничеств благодаря проведению СОМ ликвидированы очаги на площади 0,2 тыс. га, еще 0,5 тыс. га очагов затухли из-за естественных причин в 7 лесничествах края. В следующие годы существенных изменений не произошло и к концу 2023 года очаги распространены на территории 9 лесничеств на общей площади 0,8 тыс. га.

В целом воздействие вредителей рода *Monochamus*, как отмечалось ранее, ухудшает технические свойства древесины, снижая ее коммерческую стоимость и делая непригодной для экспорта. Таким образом, теряется экономическая ценность древесины.

В Красноярском крае, как и в большинстве регионов России, отмечена негативная тенденция накопления погибших лесных насаждений, оставшихся на корню. Этому способствует несвоевременность проведения или отсутствие СОМ и других мероприятий, направленных на разработку погибших лесных насаждений<sup>9</sup>. В настоящее время по данным ГЛПМ площадь поврежденных насаждений в Красноярском крае составляет 5914,3 тыс. га, в том числе погибших 183,2 тыс. га<sup>9</sup>. Однако с учетом действующих законодательных ог-

<sup>9</sup> Российский центр защиты леса «Рослесозащита». Филиал ФБУ «Центр защиты леса Красноярского края». Официальный сайт. URL: <https://krasnoyarsk.rcfl.ru/>

**Площади очагов жуков-усачей рода *Monochamus*, выявленных в Красноярском крае  
с 2007 по 2023 год**

Год	Площади очагов, га					
	На начало отчетного года	Выявлено за отчетный год	Проведено мероприятий за отчетный год	Ликвидировано проведенными мероприятиями за отчетный год	Затухло под воздействием естественных факторов	На конец отчетного года
Усач черный еловый большой <i>Monochamus urussovi</i> Fischer v. Waldheim						
2007	123462,3	41564,2	–	3427,9	8513	153085,6
2008	161598,6	15457,8	1323,2	–	49904	125829,2
2009	125829,2	2280	229,4	229,4	10696,3	117183,5
2010	115673,4	988,9	502,1	502,1	11897,6	104262,6
2011	105387,8	789,9	929,6	929,6	726	104522,1
2012	104522,1	1634	164,7	164,7	8268,7	97722,7
2013	97722,7	293	65,7	65,7	9628,7	88321,3
2014	88321,3	572	123,3	123,3	49490,6	39279,4
2015	39279,4	67	222,46	222,46	34505,9	4618
2016	4618	3755	–	–	3240,6	5132,4
2017	5132,4	–	12	12	–	5120,4
2018	5120,4	915,6	32	32	572	5432
2019	5432,0	903,0	545,0	545,0	3391,0	2399,0
2020	2399,0	1206,0	126,5	126,5	159,7	3318,8
2021	3318,8	1145,5	933,4	933,4	1260,7	2270,2
2022	2270,2	284,4	276,5	276,5	127,0	2151,1
2023	2151,1	29,6	289,9	289,9	183,5	1707,3
Усач черный еловый малый <i>Monochamus sutor</i> Linnaeus						
2007	–	103,2	–	17	–	86,2
2008	86,2	–	7,8	–	–	78,4
2009	78,4	–	44	44	–	34,4
2010	34,4	14,9	–	–	–	49,3
2011	49,3	–	19,8	19,8	–	29,5
2012	29,5	20	–	–	–	49,5
2013	49,5	–	–	–	–	49,5
2014	49,5	–	–	–	–	49,5
2015	49,5	–	11,4	11,4	29,5	8,6
2016	8,6	–	–	–	8,6	–
Усач черный сосновый <i>Monochamus galloprovincialis</i> Olivier						
2007	1482,7	5737,6	–	2007,8	–	5212,5
2008	5212,5	672	605,2	–	–	5279,3
2009	5279,3	17,8	15	15	86,5	5195,6
2010	5195,6	–	540,3	540,3	–	4655,3
2011	4655,3	105	8	8	12,8	4739,5
2012	4739,5	280,2	–	–	–	5019,7
2013	5019,7	2592	75,4	75,4	486	7050,3
2014	7050,3	75	553,7	553,7	73	6498,6
2015	6498,6	–	590,32	590,32	3710,3	2197,98
2016	2197,98	5500	19,2	19,2	1554,58	6124,2
2017	6124,2	43	50	50	–	6117,2
2018	6117,2	221,9	136,9	136,9	208	5994,2
2019	5994,2	210,9	62,0	62,0	5223,0	920,1
2020	920,1	640,3	82,0	82,0	149,0	1329,4
2021	1329,4	246,1	249,7	249,7	479,3	846,5
2022	846,5	6,2	90,4	90,4	–	762,3
2023	762,3	33,5	42,4	42,4	–	753,4

раничений<sup>8</sup> возможности учета данных о состоянии лесов, полученных по данным дистанционных наблюдений, очевидно, что масштабы таких участков значительно больше. Отсутствие официального статуса «погибшие древостои» препятствует проводить уборку неликвидной древесины в соответствующих объемах, а также мероприятия по лесовосстановлению, поскольку насаждения не могут быть официально переданы в фонд лесовосстановления. Очевидно, неполное отражение существующей ситуации о санитарном состоянии лесов на уровне региона в официальных данных ГЛПМ ограничивает достаточность финансирования мероприятий по защите лесов.

Одновременно несовершенство действующей системы кроется в некоторых методических подходах к назначению СОМ и оценке состояния лесов с наличием очагов насекомых-вредителей. Согласно действующих Правил ликвидации очагов вредных организмов (ЛОВО)<sup>10</sup> рубка лесных насаждений, являющихся очагами вредных организмов, планируется только в случае развития активного процесса заражения деревьев стволовыми вредителями от первой до третьей категорий состояния (здоровые, ослабленные, сильно ослабленные), определенных в соответствии с утвержденным Постановлением Правительства РФ от 09.12.2020 № 2047 «Правила санитарной безопасности в лесах»<sup>11</sup>.

Согласно п. 19 установленных Правил<sup>11</sup> мероприятия по предупреждению распространения вредных организмов осуществляются только в сильно ослабленных, усыхающих и погибших лесных насаждениях. Таким образом, стадия ослабления насаждения должна достигнуть момента массового повреждения вторичными вредителями (усачами, короедами, златками и другими). Дополнительно накладываются временные рамки бюрократической системы их документального оформления, обеспечивающей прозрачность назначения СОМ, в частности выборочных и сплошных санитарных рубок.

Многолетняя практика доказывает, что на законодательном уровне необходимы поправки, касающиеся региональных особенностей назначения СОМ в случае массовой и масштабной гибели лесов в результате воздействия насекомых-вредителей, в том числе инвазивных видов (в силу отсутствия иных методов борьбы и предотвращения распространения инвайдера).

<sup>10</sup>Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 9.11.2020 № 913 «Об утверждении Правил ликвидации очагов вредных организмов». URL: <https://docs.cntd.ru/document/573140203>.

<sup>11</sup>Постановление Правительства Российской Федерации от 9.12.2020 № 2047 «Об утверждении Правил санитарной безопасности в лесах». URL: <https://docs.cntd.ru/document/573053313>.

Так, в Красноярском крае основные масштабы негативного воздействия на темнохвойные лесные формации оказывают периодические вспышки сибирского шелкопряда. Недостаток финансирования или отсутствие эффективных мер управления лесами субъектов РФ усугубляет своевременность проведения вырубки поврежденных древостоев, площади которых потенциально со временем перейдут в стадию погибших с очевидными потерями коммерческой древесины.

### Заключение

В результате проведенного анализа установлено, что среди карантинных видов вредителей к масштабным нарушениям лесных экосистем на уровне региона приводят воздействия сибирского шелкопряда и уссурийского полиграфа, тем самым снижая функциональную устойчивость лесов и их экономический потенциал. Официальные данные свидетельствуют о том, что в структуре лесного фонда региона присутствуют значительные площади поврежденных и погибших древостоев, что предполагает высокий риск возникновения лесных пожаров с комплексом негативных последствий.

В динамике последних нескольких лет площади очагов карантинных видов вредителей на территории Красноярского края сокращаются. Однако действующие нормы законодательства в области защиты лесов, ограничивая возможность внесения информации о состоянии лесов по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), препятствуют своевременному проведению санитарно-оздоровительных мероприятий и возможности перевода участков в фонд лесовосстановления в краткосрочной перспективе. В действительности с учетом значительных масштабов лесных пространств региона охватить наземными обследованиями поврежденные участки лесного фонда проблематично, а в некоторых случаях даже невозможно в связи с труднодоступностью территории. В результате официальные данные отражают действительность неполно. В целях решения проблемы и улучшения ситуации необходимы дополнительные корректировки ведения методики ГЛПМ с учетом региональных особенностей территории.

**Финансирование:** работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ на выполнение коллективом научной лаборатории «Защита леса» проекта «Методологические основы оценки лесопатологических рисков в насаждениях юга Средней Сибири» (№ FEFE2024-0016).

## Литература

### Список русскоязычной литературы

1. Акулов ЕН. Фитосанитарное состояние лесопроизводства в Красноярском крае. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2009;(187):4-11.
2. Бакшеева ЕО, Головина АН, Морозов СА. Лесовозобновление и пожароопасность пихтовых насаждений, поврежденных полиграфом уссурийским. Хвойные бореальной зоны. 2021;6(39):443-50.
3. Баранчиков ЮН, Демидко ДА, Лаптев АВ, Петько ВМ. Динамика отмирания деревьев пихты сибирской в очаге уссурийского полиграфа. Лесной вестник. 2014;6(18):132-8.
4. Баранчиков ЮН, Петько ВМ, Астапенко СА, Акулов ЕН, Кривцев СА. Уссурийский полиграф – новый агрессивный вредитель пихты в Сибири. Лесной вестник. 2011;(4):78-81.
5. Бенедиктов АА. Жуки-усачи рода *Monochamus*. Лесной бюллетень. 2007;1(34):34-5.
6. Бисирова ЭМ. Распространение уссурийского полиграфа *Polygraphus proximus* Bland. в России. Фитосанитария. Карантин растений. 2024;S1(18):12.
7. Волкова ЕС, Мельник МА, Бисирова ЭМ. Особенности эколого-экономической оценки ущерба, вызванного инвазией уссурийского полиграфа в темнохвойные леса Сибири. Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017;3(2):208-12.
8. Воронцов АИ. Лесная энтомология. М.: Высшая школа; 1982.
9. Карагаева ЕИ. Черный сосновый усач. Защита и карантин растений. 2011;(8):37-8.
10. Керчев ИА, Кривцев СА, Бисирова ЭМ. Влияние инвазии уссурийского полиграфа на состав и структуру комплекса стволовых насекомых-дендрофагов пихты сибирской. Сибирский экологический журнал. 2022;29(3):336-49.
11. Кондаков ЮП. Закономерности массовых размножений сибирского шелкопряда. Экология популяций лесных животных Сибири. 1974;(2):206-65.
12. Кочунова НА, Жигуренко ДК, Юст НА. Влияние лесных пожаров на площадь заселения малого и большого черных еловых усачей в Амурской области. В кн.: Охрана и рациональное использование лесных ресурсов. Материалы X международного форума. Благовещенск-Хэйхэ; 2019. Т. 1, С. 86-8.
13. Кузьмичев ВВ, Черкашин ВП, Корец МА, Михайлова ИА. Формирование лесов на шелкопрядниках и вырубках в верховьях р. Большая Кеть (Красноярский край). Лесоведение. 2001;(4):8-14.
14. Перевозникова ВД, Баранчиков ЮН. Структура запасов наземной фитомассы в свежих шелкопрядниках пихтовой тайги Нижнего Приангарья. Энтомологические исследования в Сибири. 1999;(2):87-102.
15. Пономарев ВИ, Ильиных АВ, Гниненко ЮИ, Соколов ГИ, Андреева ЕМ. Непарный шелкопряд в Зауралье и Западной Сибири. Екатеринбург: Уральское отделение РАН; 2012.
16. Рожков АС, Массель ГИ. Смолистые вещества хвойных и насекомые-ксилофаги. Новосибирск: Наука; 1982.
17. Рожков АС. Непарный шелкопряд в Средней и Восточной Сибири. Новосибирск: Наука; 1982.
18. Савченко АА, Выводцев НВ. Прогноз динамики развития очагов непарного шелкопряда на основе данных показателя влагообеспеченности в Хабаровском крае. Ученые заметки ТОГУ. 2015;3(6):75-9.
19. Фарбер СК. Оценка ущерба лесным экосистемам от воздействия сибирского шелкопряда в Красноярском крае. Лесная таксация и лесоустройство. 2010;1(43):152-62.
20. Храмов НН, Падий НН. Стволовые вредители леса и борьба с ними. М.: Лесная промышленность, 1965.

### Общий список литературы/References List

1. Akulov YeN. [Phytosanitary conditions of timber in Krasnoyarskiy Krai]. Izvestiya Sankt-Peterburgskoy Lesotekhnicheskoy Akademii. 2009;(187):4-11. (In Russ.)
2. Baksheyeva YeO, Golovina AN, Morozov SA. [Reforestation and fire hazard of fir stands damaged by the four-eyed fir bark beetle *Polygraphus proximus*]. Khvoynye Borealnoy Zony. 2021; 6(39):443-50. (In Russ.)
3. Baranchikov YuN, Demidko DA, Laptev AV, Petko VM. [Dynamics of Siberian fir dieback in the outbreak area of the four-eyed fir bark beetle]. Lesnoy Vestnik. 2014;6(18):132-8. (In Russ.)
4. Baranchikov YuN, Pet'ko VM, Astapenko SA, Akulov YeN, Krivtsev SA. [*Polygraphus proximus* is a new aggressive invasive pest of firs in Siberia]. Lesnoy Vestnik. 2011;(4):78-81. (In Russ.)
5. Benediktov AA. [Longhorned beetles of the genus *Monochamus*]. Lesnoy Biulleten. 2007;1(34):34-5. (In Russ.)
6. Bisirova EM. [Distribution of the four-eyed fir bark beetle (*Polygraphus proximus* Bland.) in Russia]. Fitosanitariya Karantin Rasteniy. 2024;S1(18):12. (In Russ.)

7. Volkova YeS, Melnik MA, Bisirova EM. [Peculiarities of the ecological-economic evaluation of damage caused by the invasion of four-eyed fir bark beetle in the dark coniferous forests of Siberia]. *Interesko Geo-Sibir*. 2017;3(2):208-22. (In Russ.)
8. Vorontsov AI. *Lesnaya Entomologiya*. Moscow: Vysshaya Shkola; 1982. (In Russ.)
9. Karagayeva YeI. [*Monochamus galloprovincialis*]. *Zashchita i Karantin Rasteniy*. 2011;(8):37-8. (In Russ.)
10. Kerchev IA, Krivtsev SA, Bisirova EM. [Effect of the four-eyed fir bark beetle invasion on the species composition and structure of the Siberian Fir stem pest complex]. *Sibirskiy Ekologicheskiy Zhurnal*. 2022;29(3):336-49. (In Russ.)
11. Kondakov YuP. [Patterns in the Siberian moth outbreaks]. *Ekologiya Populiatsiy Lesnykh Zhivotnykh Sibiri*. 1974;(2):206-65. (In Russ.)
12. Kochunova NA, Zhigurenko DK, Yust NA. [The impact of forest fires on the area of settlement of small and large black spruce barbel in the Amur region]. In: *Okhrana i Ratsionalnoye Ispolzovaniye Lesnykh Resursov. Blagoveshchensk-Heyhe*; 2019. Vol. 1, P. 86-8. (In Russ.)
13. Kuzmichev VV, Cherkashin VP, Korets MA, Mikhaylova IA. [Formation of forests in areas disturbed by the Siberian moth and clearings in the upper reaches of the river Bolshaya Ket (Krasnoyarsk Krai)]. *Lesovedeniye*. 2001;(4):8-14. (In Russ.)
14. Perevoznikova VD, Baranchikov YuN. [Structure of terrestrial phytomass reserves in recently dead fir taiga disturbed by the Siberian moth in the Lower Angara region]. *Entomologicheskiye Issledovaniya v Sibiri*. 1999;(2):87-102. (In Russ.)
15. Ponomarev VI, Il'inykh AV, Gninenko YuI, Sokolov GI, Andreyeva YeM. *Neparnyi Shelkopryad v Zauralye i Zapadnoy Sibiri*. [Gypsy Moth in Trans-Ural and Western Siberia]. Yekaterinburg: Uralskoye Otdeleniye RAN; 2012. (In Russ.)
16. Rozhkov AS, Massel GI. *Smolistye Veshchestva Khvoynykh i Nasekomye-Ksilofagi*. [Resinous Substances of Conifers and Xylophagous Insects]. Novosibirsk: Nauka; 1982. (In Russ.)
17. Rozhkov AS. *Neparnyi Shelkopryad v Sredney i Vostochnoy Sibiri*. [The Gypsy Moth in Central and Eastern Siberia]. Novosibirsk: Nauka, 1982. (In Russ.)
18. Savchenko AA, Vyvodtsev NV. [Forecast of dynamics of development of foci of *Lymantria dispar* based on index moisture supply in the Khabarovsk]. *Uchenye Zametki TOGU*. 2015;3(6):75-9. (In Russ.)
19. Farber SK. [Evaluation of damage to forest ecosystems caused by Siberian moth in Krasnoyarsk kray]. *Lesnaya Taksatsiya i Lesoustroystvo*. 2010;1(43):152-62. (In Russ.)
20. Khramtsov NN, Padiy NN. *Stvolovye Vrediteli Lesa i Borba s Nimi*. [Forest Stem Pests and Control Theeof]. Moscow: Lesnaya Promyshlennost; 1965. (In Russ.)
21. Sultson SM, Mikhaylov PV, Kulakov SS, Gorshko AA. Opportunities for assessing the risk of an outbreak of Siberian silkworm (*Dendrolimus superans sibiricus* Tschetv.) in taiga forests. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*. 2020;(548):52051.







Подписано в печать **15.06.2025.**

Дата выхода в свет **30.06.2025.**

Отпечатано в **ИП Лесник**

**197110, Санкт-Петербург, Чкаловский пр., д. 15 Лит 3 пом. 101-103**

**Тел.: +7 (812) 649-73-14.**

**Тираж 700 экз.**

**Цена свободная**

Адрес издателя и редакции:

**197110, Санкт-Петербург, Большая Разночинная ул., д. 28; тел./факс: (812) 415-41-61**

Учредитель: **Фонд научных исследований "XXI век"**

Главный редактор: **Розенберг Геннадий Самуилович**