

ISSN 2079-0333

**ВЕСТНИК
Камчатского
государственного
технического
университета**



Научный
журнал

Основан в 2002 г.

16+

ВЫПУСК

74

2025

Издательство



КамчатГТУ

Петропавловск-Камчатский

ISSN 2079-0333

ВЕСТНИК Камчатского государственного технического университета



**Научный
журнал**

Основан в 2002 г.

Bulletin of Kamchatka State Technical University

Журнал включен в действующий Перечень рецензируемых научных изданий (ВАК РФ).
Информация о включении журнала представлена на официальном сайте ВАК
(<https://vak.minobrnauki.gov.ru>)

Journal is included in List of peer-reviewed publications (State Commission
for Academic Degrees and Titles of the Russian Federation).
Information is available on the official website of State Commission
for Academic Degrees and Titles (<https://vak.minobrnauki.gov.ru>)

Журнал размещается
в Научной электронной библиотеке (договор № 22-02/2011 R от 01.02.2011),
в международной информационной системе по водным наукам и рыболовству ASFIS
(Aquatic Sciences and Fisheries Information System) (соглашение от 17.05.2011)

Journal is indexed in Scientific electronic library (contract № 22-02/2011 R of 01.02.2011),
in Aquatic Sciences and Fisheries International Information System ASFIS
(agreement on 17.05.2011)

ВЫПУСК

74

2025

Петропавловск-Камчатский

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Клочкова Т.А. (главный редактор)	доктор биологических наук, доктор философии биологии (Ph.D.), профессор кафедры экологии и природопользования Камчатского государственного технического университета
Царенко С.Н. (научный редактор, технический раздел)	доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры технологических машин и оборудования Камчатского государственного технического университета
Васильев М.В. (научный редактор, технический раздел)	кандидат технических наук, капитан 1 ранга, начальник военного учебного центра при Камчатском государственном техническом университете
Ольхина О.В. (ответственный секретарь)	заведующий издательством Камчатского государственного технического университета
Белавина О.А. (технический секретарь)	кандидат химических наук, заведующий сектором патентования и научно-квалификационной деятельности отдела науки и инноваций Камчатского государственного технического университета
Артемова Е.Н.	доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии продуктов питания и организации ресторанного дела Орловского государственного университета имени И.С. Тургенева
Водинчар Г.М.	кандидат физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Института космофизических исследований и распространения радиоволн Дальневосточного отделения Российской академии наук
Голохваст К.С.	доктор биологических наук, профессор РАН, член-корреспондент РАО, директор Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук
Йотсукура Н.	доктор философии биологии (Ph.D.), профессор, директор Морской станции Ошоро, научно-исследовательский центр по изучению северной биосферы Университета Хоккайдо (Япония)
Кадникова И.А.	доктор технических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник лаборатории безопасности и качества морского растительного сырья Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра
Ким Г.Х.	доктор философии биологии (Ph.D.), профессор, заведующий лабораторией альгологии Национального университета Конджу (Республика Корея)

Климова А.В.	кандидат биологических наук, заведующий сектором коллективного использования научного оборудования научно-образовательного центра «Экология и природопользование» Камчатского государственного технического университета
Клочкова Н.Г.	доктор биологических наук, главный научный сотрудник Камчатского филиала Тихоокеанского института географии Дальневосточного отделения Российской академии наук
Лобков Е.Г.	доктор биологических наук, профессор кафедры водных биоресурсов, рыболовства и аквакультуры Камчатского государственного технического университета
Максимова С. Н.	доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии продуктов питания Дальневосточного государственного технического рыбохозяйственного университета
Манаков Ю.А.	доктор биологических наук, заместитель директора по научной деятельности Сибирского федерального научного центра агrobiотехнологий Российской академии наук
Потапов В.В.	доктор технических наук, главный научный сотрудник Научно-исследовательского геотехнологического центра Дальневосточного отделения Российской академии наук
Приходько Ю.В.	доктор технических наук, профессор, профессор Передовой инженерной школы «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем» Дальневосточного федерального университета
Седова Н.А.	доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры водных биоресурсов, рыболовства и аквакультуры Камчатского государственного технического университета
Сенкевич Ю.И.	доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Института космofизических исследований и распространения радиоволн Дальневосточного отделения Российской академии наук
Токранов А.М.	доктор биологических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник Камчатского филиала Тихоокеанского института географии Дальневосточного отделения Российской академии наук
Усов А.И.	доктор химических наук, главный научный сотрудник Института органической химии имени Н.Д. Зелинского Российской академии наук
Швецов В.А.	доктор химических наук, доцент, профессор кафедры энергетических установок и электрооборудования судов Камчатского государственного технического университета

EDITORIAL BOARD

- Klochkova T.A.** Doctor of Biological Sciences, Doctor of Philosophy in Biology (Ph.D.),
(Editor-in-Chief) Professor of Ecology and Nature Management Chair, Kamchatka State
Technical University
- Tzarenko S.N.** Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Pro-
(Scientific Editor, fessor of Technical Machines and Equipment Chair, Kamchatka State
technical sciences) Technical University
- Vasilev M.V.** Candidate of Technical Sciences, Captain 1st rank, Head of Military
(Scientific Editor, Training Center of Kamchatka State Technical University
technical sciences)
- Olkhina O.V.** Head of Publishing House, Kamchatka State Technical University
(Executive Secretary)
- Belavina O.A.** Candidate of Chemical Sciences, Head of the Patenting and Scientific
(Technical Secretary) Qualification Activity Sector of Science and Innovation Department,
Kamchatka State Technical University
- Artemova E.N.** Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Food Technology
and Organization of Restaurant Business Chair, Orel State University
named after I.S. Turgenev
- Vodinchar G.M.** Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,
Leading Scientific Researcher of Institute of Cosmophysical Research
and Radio Wave Propagation of the Far Eastern Branch of Russian
Academy of Sciences
- Golokhvast K.S.** Doctor of Biological Sciences, Professor of Russian Academy of
Sciences, Corresponding Member of Russian Academy of Education,
Director of Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies of
Russian Academy of Sciences
- Yotsukura N.** Doctor of Philosophy in Biology (Ph.D.), Professor, Director of Oshoro
Marine Station, Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido
University (Japan)
- Kadnikova I.A.** Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Chief Researcher,
Laboratory of Safety and Quality of Marine Plant Materials, Pacific
Research Fisheries Center
- Kim G.H.** Doctor of Philosophy in Biology (Ph.D.), Professor, Head of Phycology
Laboratory, Kongju National University (South Korea)

- Klimova A.V.** Candidate of Biological Sciences, Head of Sector of Collective Use of Scientific Equipment of the Scientific and Educational Center “Ecology and Nature Management”, Kamchatka State Technical University
- Klochkova N.G.** Doctor of Biological Sciences, Chief Scientific Researcher of Kamchatka Branch of the Pacific Institute of Geography of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
- Lobkov E.G.** Doctor of Biological Sciences, Professor of Water Bioresources, Fishery and Aquaculture Chair, Kamchatka State Technical University
- Maksimova S.N.** Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Food Technology Chair of Far Eastern State Technical Fisheries University
- Manakov Yu.A.** Doctor of Biological Sciences, Director Deputy for Scientific work of Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies of Russian Academy of Sciences
- Potapov V.V.** Doctor of Technical Sciences, Chief Scientific Researcher of Research Geotechnological Center of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
- Prikhodko Yu.V.** Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Advanced Engineering School “Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems”, Far Eastern Federal University
- Sedova N.A.** Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of Water Bioresources, Fishery and Aquaculture Chair, Kamchatka State Technical University
- Senkevich Y.I.** Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Scientific Researcher of Institute of Cosmophysical Research and Radio Waves Propagation of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
- Tokranov A.M.** Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher, Chief Scientific Researcher of Kamchatka Branch of the Pacific Institute of Geography of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
- Usov A.I.** Doctor of Chemical Sciences, Chief Scientific Researcher of N.D. Zelinsky Institute of Organic Chemistry of Russian Academy of Sciences
- Shvetsov V.A.** Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Professor of Power Plants and Electrical Equipment of Ships Chair, Kamchatka State Technical University

Содержание

РАЗДЕЛ I. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Горбачев М.М., Ястребов Д.П., Белавина О.А.,

Рогожников А.О., Швецов В.А.

Разработка метода контрольных испытаний
цинковых электродов сравнения «Менделеевец»8

Калашникова М.В.

Выявление ключевых детерминант радоноопасности урбанизированных территорий22

Перетягко Н.Д., Сухов М.А., Куценкова В.С., Неповинных Н.В.

Разработка состава и оценка свойств антипригарного эмульсионного геля.....32

РАЗДЕЛ II. БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Клочкова Т.А., Васильев М.В., Клочкова Н.Г.

Ламинариевые водоросли морей российского Дальнего Востока:
ревизия молекулярно-генетической информации (по данным из NCBI)44

Архипова Е.А., Коростелев С.Г.

Макрофитобентос бухты Вилючинской Авачинского залива
(Северо-Западная Пацифика) летом 2002 года.....73

Клочкова Н.Г., Рогатых С.В.

Эффективность использования водного экстракта
камчатской морской бурой водоросли *Alaria esculenta* (Laminariales)
как биостимулятора прорастания семян *Vigna radiata* (Fabales)86

Григорьев С.С., Седова Н.А.

Морфологическая характеристика личинок и мальков седловидного бычка
Microcottus sellaris (Cottidae) из прибрежных вод Камчатки
и западной части Берингова моря.....97

Василискова А.В., Кондратенко С.В.

Вариабельность химических показателей фильтрационных вод
полигона твердых коммунальных отходов г. Калининграда116

Авторский указатель статей, опубликованных в журнале «Вестник КамчатГТУ»
в 2025 году (№ 71-74).....127

Contents

SECTION I. TECHNICAL SCIENCES

Gorbachev M.M., Yastrebov D.P., Belavina O.A., Rogozhnikov A.O., Shvetsov V.A.	
Development of a method of control comparison electrodes “Mendeleeevets”	8
Kalashnikova M.V.	
Identification of key determinants of radon hazard in urbanized territories	22
Peretyatko N.D., Sukhov M.A., Kutsenkova V.S., Nepovinnikh N.V.	
Composition development and non-stick emulsion gel properties evaluation	32

SECTION II. BIOLOGICAL SCIENCES

Klochkova T.A., Vasilev M.V., Klochkova N.G.	
Laminariacean algae from Russian Far Eastern seas: revision of molecular-genetic data (from NCBI database).....	44
Arkhipova E.A., Korostelev S.G.	
Macrophytobenthos of Vilyuchinskaya Bay of Avacha Gulf (Northwest Pacific) in summer 2002.....	73
Klochkova N.G., Rogatykh S.V.	
The effect of aqueous extract from the kelp species, <i>Alaria esculenta</i> , from Kamchatka as a biostimulator of <i>Vigna radiata</i> (Fabales) seed germination.....	86
Grigorev S.S., Sedova N.A.	
Morphological characteristics of larvae and fry of the brightbelly sculpin <i>Microcottus sellaris</i> (Cottidae) from the coastal waters of Kamchatka and the western Bering Sea	97
Vasiliskova A.V., Kondratenko S.V.	
Variability of leachate chemical indicators from Kaliningrad municipal solid waste landfill.....	116
Autor index of articles published in the journal “Bulletin of Kamchatka State Technical University” in 2025 (№ 71–74).....	
	127

Научная статья

УДК 620.19:629.5.023

DOI: 10.17217/2079-0333-2025-74-8-21

РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОНТРОЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЦИНКОВЫХ ЭЛЕКТРОДОВ СРАВНЕНИЯ «МЕНДЕЛЕЕВЕЦ»

Горбачев М.М.¹, Ястребов Д.П.², Белавина О.А.², Рогожников А.О.², Швецов В.А.²¹ Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, ул. Татищева, стр. 16/1.² Камчатский государственный технический университет, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35.

В соответствии с требованиями Российского морского регистра судоходства и нормативно-технической документации для защиты корпусных конструкций, механизмов, агрегатов и систем энергетической установки от коррозии используют системы электрохимической защиты. Экипажи морских судов должны выполнять контроль технического состояния систем электрохимической защиты судов от коррозии с помощью хлорсеребряного электрода сравнения. Однако использование хлорсеребряных электродов сравнения на морских судах вызывает финансовые, технические и организационные затруднения. Поэтому предлагается использовать для контроля технического состояния систем электрохимической защиты судов от коррозии цинковые электроды сравнения, которые имеют следующие преимущества: более низкая стоимость и удобство эксплуатации и хранения. Для использования цинковых электродов сравнения на морских судах экипажи судов необходимо обеспечить надежным и нетрудоемким методом выполнения контрольных испытаний при помощи данных типов электродов. В статье приводятся сведения о разработанном авторами способе контрольных испытаний цинковых электродов сравнения типа «Менделеевец» с использованием автоматизированной измерительной системы.

Ключевые слова: измерение потенциала, хлорсеребряный электрод сравнения, цинковый электрод сравнения «Менделеевец», электрохимическая защита от коррозии.

Original article

DEVELOPMENT OF A METHOD OF CONTROL COMPARISON ELECTRODES “MENDELEEVETS”

Gorbachev M.M.¹, Yastrebov D.P.², Belavina O.A.², Rogozhnikov A.O.², Shvetsov V.A.²¹ Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Tatishcheva Str., building 16/1.² Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Klyuchevskaya Str. 35.

In accordance with the requirements of the Russian Maritime Register of Shipping and regulatory and technical documentation, electrochemical protection systems are used to protect hull structures, mechanisms, units, and power plant systems from corrosion. The crews of marine vessels must monitor the technical condition of the electrochemical protection systems using a silver chloride reference electrode. However, the use of silver chloride reference electrodes on marine vessels presents financial, technical, and organizational challenges. Therefore, it is proposed to use zinc reference electrodes for monitoring the technical condition

of electrochemical protection systems on ships against corrosion. These reference electrodes have the following advantages: lower cost and ease of use and storage. To use zinc reference electrodes on ships, it is necessary to provide ship crews with a reliable and easy-to-use method for performing control tests using these reference electrodes.

Key words: potential measurement, silver chloride reference electrode, zinc reference electrode “Mendeleevets”, electrochemical corrosion protection.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно нормативным документам РФ [ГОСТ 26501-85, 1985; ГОСТ 9.056-75, 1986; РЗК-НК-01, 2001] экипажи морских судов должны выполнять контроль технического состояния систем электрохимической защиты судов от коррозии. Для этого экипажу судна необходимо выполнять контрольные измерения защитного потенциала корпуса судна с помощью хлорсеребряного электрода сравнения (ХСЭ) [Коробцов, 1975; Зобочев, Солинская, 1984; Чендлер, 1988; Швецов и др., 2016]. Однако использование ХСЭ на морских судах вызывает финансовые, технические и организационные затруднения. Поэтому авторы, проведя анализ работы [Патент 2685459, 2017], предлагают использовать для контроля технического состояния систем электрохимической защиты судов от коррозии цинковые электроды сравнения (Zn-ЭС), которые имеют следующие преимущества перед ХСЭ:

- а) более низкая стоимость;
- б) удобство эксплуатации и хранения в судовых условиях.

Однако для использования Zn-ЭС на морских судах экипажи судов необходимо обеспечить соответствующей методикой выполнения контрольных испытаний при помощи электродов Zn-ЭС. Авторы изобретения [Патент 2685459, 2017] предлагают использовать для проведения контрольных испытаний электродов сравнения разработанную ими установку.

Методика [Патент 2685459, 2017] контрольных испытаний при помощи электродов сравнения (в том числе и Zn-ЭС) состоит в следующем:

- а) необходимо проведение контрольных измерений с периодичностью, составляющей не реже одного измерения в сутки;
- б) для получения достоверных результатов контрольных испытаний электродов сравнения длительность натурных испытаний должна составлять не менее года [Патент 2685459, 2017];
- в) для контроля технического состояния электродов сравнения необходимо использовать автоматизированное измерительное устройство.

Метод контроля [Патент 2685459, 2017] судовых электродов сравнения по результатам проведенного опроса не устраивает экипажи судов. Авторы работы [Ястребов и др., 2025а] установили, что метод контрольных испытаний судовых электродов сравнения при использовании в том числе на судах может быть усовершенствован, и разработали собственный метод контрольных испытаний судовых ХСЭ. Однако он не предназначен для контрольных испытаний электродов типа Zn-ЭС на морских судах.

В статье предложен и обоснован метод совершенствования контрольных измерений цинковых электродов сравнения для использования их на морских судах. Авторы данной статьи впервые предлагают использовать на морских судах отечественный цинковый электрод сравнения «Мен-

делеевец». Цель статьи – разработка комплекса предложений и рекомендаций, необходимых для использования цинковых электродов сравнения «Менделеевец» на морских судах и кораблях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для достижения поставленной цели был выполнен научно-технический эксперимент с учетом результатов работы [Ястребов и др., 2025а]. В лабораторных условиях были произведены измерения разности потенциалов между Zn-ЭС и ХСЭ в период времени с 25.11.2024 по 09.01.2025. Контрольные измерения выполнялись с помощью автоматизированной лабораторной установки авторской разработки, основанной на ранее проведенных исследованиях [Белов и др., 2020; Ястребов и др., 2025б]. Схема установки приведена на рисунке 1.

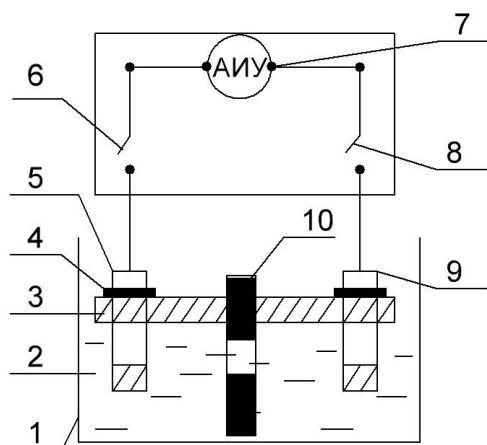


Рис. 1. Лабораторная установка для контрольных испытаний: 1 – сосуд, выполненный из диэлектрического материала; 2 – морская вода; 3 – поплавок, выполненный из пенопласта; 4 – фиксирующее устройство; 5 – контрольный Zn-ЭС; 6, 8 – выключатели; 7 – автоматическое измерительное устройство (АИУ); 9 – рабочий ХСЭ; 10 – термометр

Fig. 1. Laboratory setup for control tests: 1 – vessel made of dielectric material; 2 – sea water; 3 – float made of foam plastic; 4 – fixing device; 5 – control Zn-ES; 6, 8 – switches; 7 – automatic measuring device (AMD); 9 – working HSE; 10 – thermometer

Единичные контрольные измерения выполнялись круглосуточно с интервалом времени между измерениями не более 30 минут. Температура морской воды находилась в интервале значений 20–22°C (испытания производились в лабораторных условиях). Математическую обработку результатов контрольных измерений выполняли с использованием программного обеспечения «MS Excel» при помощи общепринятых и признанных методов математической статистики.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты контрольных измерений в виде графика изменения разницы потенциалов по времени за весь период контрольных испытаний представлены на рисунке 2. Из него можно определить, что в период времени с 25.11.2024 по 20.12.2024 результаты контрольных измерений нестабильны [ГОСТ 26501-85, 1985; ГОСТ 9.056-75, 1986; РЗК-НК-01, 2001; Швецов и др., 2016]. Они широко изменяются в интервале значений от 983 до 1 029 мВ. В период времени с 21.12.2024 по 30.12.2024 результаты контрольных измерений изменяются в интервале значений от 996 до 1 023 мВ, то есть более стабильны.

На рисунке 3 представлен график изменения среднего значения суточных результатов контрольных измерений. Из него можно установить, что изменения среднего значения результатов контрольных измерений происходят в диапазоне от 1 012,52 до 1 013,46 мВ.

Далее был произведен анализ результатов контрольных измерений, выполненных в период с 31.12.2024 по 09.01.2025 (см. рис. 4). Из рисунка 4 можно заметить, что интервал значений результатов контрольных измерений находится в пределах от 1 011,42 до 1 012,67 мВ.

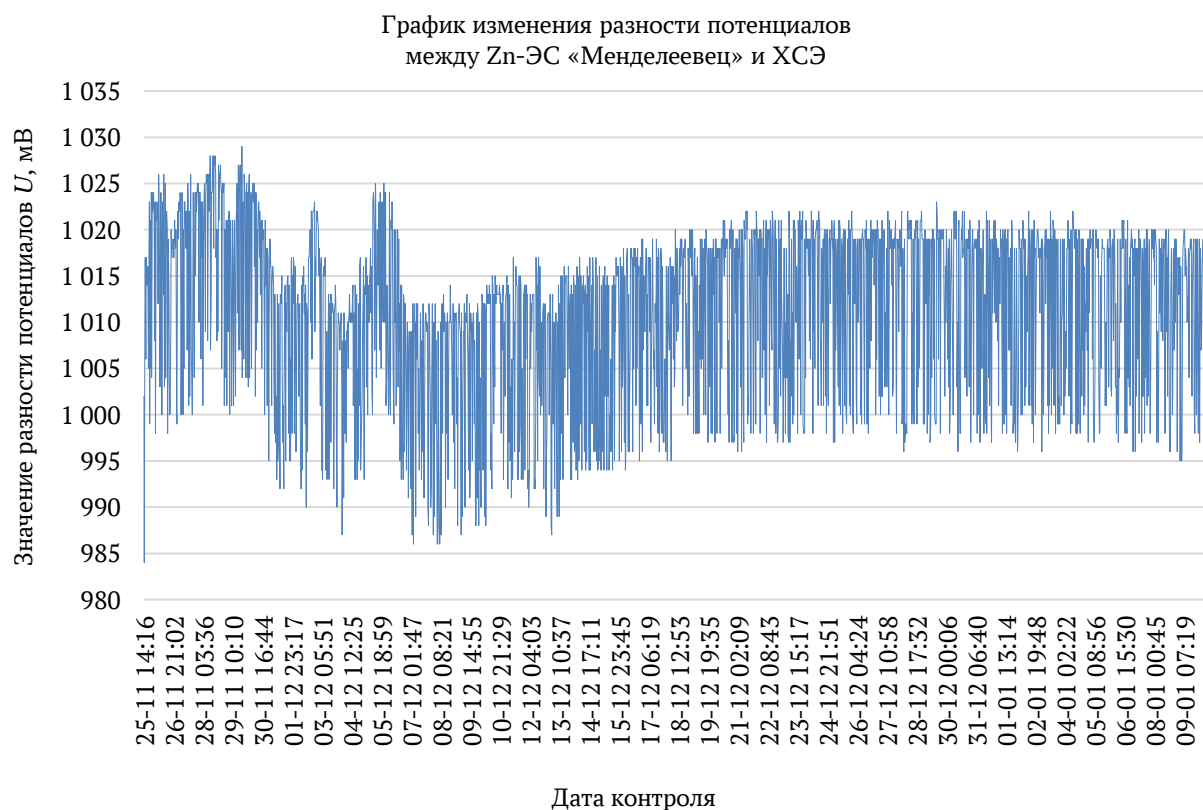


Рис. 2. Динамика результатов контрольных измерений в период с 25.11.2024 по 09.01.2025, полученных с помощью электрода сравнения «Менделеевец»

Fig. 2. Dynamics of the results of control measurements in the period from 25.11.2024 to 09.01.2025, obtained using the reference electrode “Mendeleevevs”

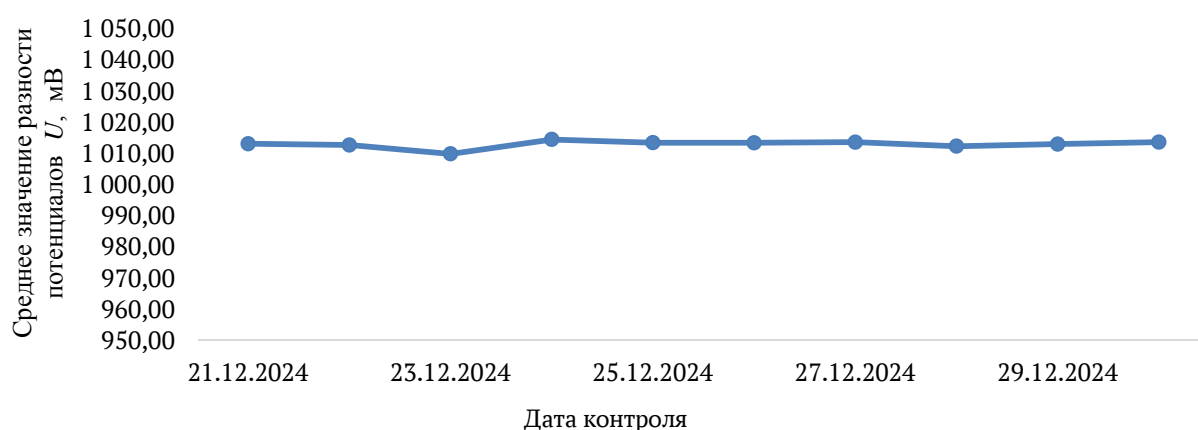


Рис. 3. Динамика результатов средних значений суточных контрольных измерений в период с 21.12.2024 по 30.12.2024, полученных с помощью электрода сравнения «Менделеевец»

Fig. 3. Dynamics of the results of average values of daily control measurements in the period from 21.12.2024 to 30.12.2024, obtained using the reference electrode “Mendeleevevs”

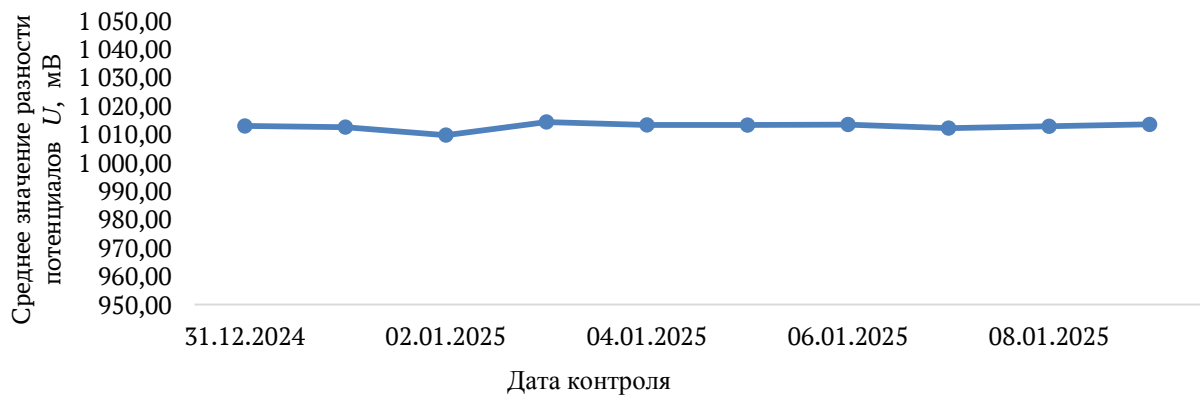


Рис. 4. Динамика результатов средних значений суточных контрольных измерений в период с 31.12.2024 по 09.01.2025, полученных с помощью электрода сравнения «Менделеевец»

Fig. 4. Dynamics of the results of average values of daily control measurements in the period from 31.12.2024 to 09.01.2025, obtained using the reference electrode “Mendeleevets”

Из рисунков 2–4 можно установить, что в период времени с 21.12.2024 по 09.01.2025 результаты измерений наиболее стабильны относительно средней величины. Для данных выборок результатов измерений была выполнена статистическая обработка. Результаты контрольных испы-

таний, проведенных в автоматизированном режиме в период с 21.12.2024 по 30.12.2024, представлены в таблице 1.

Результаты статистической обработки данных эксперимента, полученных в период времени с 21.12.2024 по 30.12.2024, представлены в таблице 2.

Таблица 1. Результаты контрольных испытаний, проведенных в автоматизированном режиме в период с 21.12.2024 по 30.12.2024

Table 1. Results of control tests conducted in automated mode in the period from 21.12.2024 to 30.12.2024

№ п/п	Результаты контроля потенциала, полученные с помощью электрода сравнения «Менделеевец»										
	Числен-ное зна-чение резуль-тата из-мерения, мВ	Количество полученных результатов в день									
		21.12.24	22.12.24	23.12.24	24.12.24	25.12.24	26.12.24	27.12.24	28.12.24	29.12.24	30.12.24
1	995	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2	996	2	–	–	–	–	–	–	1	–	1
3	997	1	3	3	–	2	–	–	2	1	–
4	998	3	2	6	2	1	2	1	2	2	3
5	999	3	1	2	–	1	4	–	6	6	–
6	1 000	1	2	2	–	2	3	2	3	2	1
7	1 001	1	1	1	4	4	–	4	–	–	–
8	1 002	1	1	1	2	–	1	5	–	1	2
9	1 003	1	–	–	–	2	–	–	1	–	3
10	1 004	–	2	4	–	–	–	–	1	1	1
11	1 005	–	1	–	1	–	1	–	1	–	–
12	1 006	–	–	1	1	–	–	1	1	2	2
13	1 007	–	2	1	–	1	–	1	–	–	–

Окончание таблицы 1

The End of the Table 1

№ п/п	Результаты контроля потенциала, полученные с помощью электрода сравнения «Менделеев»										
	Числен- ное зна- чение результата из- мерения, мВ	Количество полученных результатов в день									
		21.12.24	22.12.24	23.12.24	24.12.24	25.12.24	26.12.24	27.12.24	28.12.24	29.12.24	30.12.24
14	1 008	2	1	1	3	–	1	–	–	1	–
15	1 009	1	2	–	1	1	1	1	–	–	–
16	1 010	–	1	4	1	–	2	–	–	–	3
17	1 011	–	–	2	1	2	1	1	1	–	2
18	1 012	–	–	–	–	2	3	3	–	1	–
19	1 013	2	1	1	1	1	–	–	–	1	–
20	1 014	–	1	–	–	–	1	1	1	–	1
21	1 015	–	2	–	1	1	–	1	–	1	–
22	1 016	–	1	1	–	–	–	–	1	1	–
23	1 017	2	–	–	–	2	1	1	–	–	2
24	1 018	3	2	4	3	2	3	4	1	1	8
25	1 019	12	9	4	12	10	15	9	8	17	7
26	1 020	9	5	3	8	8	7	8	6	8	6
27	1 021	1	7	4	5	5	2	4	9	–	2
28	1 022	3	1	3	2	1	–	1	3	1	4
29	1 023	–	–	–	–	–	–	–	–	1	–
30	Суммар- ное ко- личество измере- ний, в день	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48

Таблица 2. Результаты статистической обработки данных эксперимента, проведенного в период времени с 21.12.2024 по 30.12.2024

Table 2. Results of statistical processing of data from the experiment conducted in the period from 21.12.2024 to 30.12.2024

Данные экспери- мента	Значения данных, полученных при контрольных испытаниях с 21.12.2024 по 30.12.2024										
Дата	21.12.24	22.12.24	23.12.24	24.12.24	25.12.24	26.12.24	27.12.24	28.12.24	29.12.24	30.12.24	
Интервал значений измерения потенциала, мВ	996–1 022	997–1 022	997–1 022	998–1 022	997–1 022	998–1 021	998–1 022	996–1 022	997–1 023	996–1 022	
Количество измерений в выборке, n	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	
Среднее значение потенциала, $U_{\text{ср}}$, мВ	1 012,92	1 012,52	1 009,71	1 014,33	1 013,29	1 013,23	1 013,44	1 012,17	1 012,81	1 013,46	

Окончание таблицы 2

The End of the Table 2

Данные эксперимента	Значения данных, полученных при контрольных испытаниях с 21.12.2024 по 30.12.2024									
Дата	21.12.24	22.12.24	23.12.24	24.12.24	25.12.24	26.12.24	27.12.24	28.12.24	29.12.24	30.12.24
Дисперсия, S_n^2 , (мВ) ²	82,99	73,67	82,71	58,01	69,66	64,43	58,75	96,56	78,49	64,79
Стандартное отклонение, S_n , мВ	9,21	8,67	9,19	7,70	8,43	8,11	7,75	9,93	8,95	8,13
Коэффициент вариации, %	0,91	0,86	0,91	0,76	0,83	0,80	0,76	0,98	0,88	0,80

Для оценки значимости расхождения средних результатов измерений выполнили проверку однородности дисперсий с использованием критерия Кохрена [Смагунова, Карпукова, 2008].

$$G_{\max} = S_{\max}^2 / (S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + S_4^2 + S_5^2 + S_6^2 + S_7^2 + S_8^2 + S_9^2 + S_{10}^2) =$$

$$= 96,56 / (82,99 + 73,67 + 82,71 + 58,01 + 69,66 + 64,43 + 58,75 + 96,56 + 78,49 + 64,79) = 0,1323,$$

где G_{\max} – значение критерия Кохрена;

S_{\max}^2 – максимальная выборочная дисперсия, (мВ)²;

$S_1^2, S_2^2, S_3^2, S_4^2, S_5^2, S_6^2, S_7^2, S_8^2, S_9^2, S_{10}^2$ – сравниваемые дисперсии, (мВ)².

Далее было произведено сравнение рассчитанного значения критерия Кохрена с табличным значением и установлено, что

$$G_{\max} < G_{\max}(0,05; m; f);$$

$$G_{\max} = 0,1323 < G_{\max}(0,05; m = 10; f = 47) = 0,1620,$$

где $G_{\max}(0,05; m; f)$ – табличное значение критерия Кохрена (уровень значимости 0,05; m – количество сравниваемых дисперсий; f – число степеней свободы, равное $(n - 1)$, где n – число членов в выборке).

Следовательно, дисперсии однородны, и поэтому считаем, что результаты измерений равнозначны для доверительной вероятности 0,95.

Затем была выполнена оценка достоверности средних результатов значений потенциала по t -критерию Стьюдента [Смагунова, Карпукова, 2008].

Для сравнения использовались наиболее расходящиеся по значениям средние результаты измерений: $U_{cp10} = 1\,013,46$ мВ и $U_{cp3} = 1\,009,71$ мВ.

Так как дисперсии однородны, было рассчитано их среднее значение:

$$S_{cp}^2 = (S_{10}^2 + S_3^2) / 2 =$$

$$= (64,79 + 82,71) / 2 = 73,75 \text{ (мВ)}^2.$$

Среднее стандартное отклонение составило 8,59 мВ.

Далее был рассчитан t -критерий:

$$t = \frac{|U_{cp3} - U_{cp10}|}{\sqrt{S_{cp}^2}} \cdot \sqrt{\frac{n_3 \cdot n_{10}}{n_3 + n_{10}}},$$

$$t = \frac{|1009,71 - 1013,46|}{\sqrt{73,75}} \cdot \sqrt{\frac{48 \cdot 48}{48 + 48}} = 2,14,$$

где t – значение t -критерия Стьюдента;

$U_{\text{ср}3}$ – среднее значение результатов третьей выборки;

$U_{\text{ср}10}$ – среднее значение результатов десятой выборки;

$S_{\text{ср}}^2$ – среднее значение сравниваемых дисперсий;

n_3 – число членов в третьей выборке;

n_{10} – число членов в десятой выборке.

Полученное рассчитанное значение сравнивалось с табличным значением для доверительной вероятности 0,95 и значением для доверительной вероятности 0,99.

$$t > t(0,05; 94) = 1,99, \\ \text{но } t < t(0,01; 94) = 2,62,$$

где $t(0,05; 94)$ – табличное значение t -критерия Стьюдента (уровень значимости 0,05; f – число степеней свободы, равное $(n_3 - 1) + (n_{10} - 1)$, где n – число членов в соответствующей выборке); $t(0,01; 94)$ – табличное значение t -критерия Стьюдента (уровень значимости 0,01; f – число степеней свободы, равное $(n_3 - 1) + (n_{10} - 1)$, где n – число членов в соответствующей выборке).

Таким образом, исходя из результатов статистической обработки, расхождение между средними результатами измерений, полученными в период с 21.12.2024 по 30.12.2024, предположительно носит случайный характер, поскольку разность между рассчитанным значением t -критерия и табличным составила:

$$2,14 - 1,99 = 0,15 \\ \text{для уровня значимости } 0,05,$$

$$|2,14 - 2,62| = 0,48 \\ \text{для уровня значимости } 0,01.$$

В этом случае может быть принято решение, что различие между средними результатами измерений потенциала статистически незначимо [Смагунова, Карпукова, 2008], так как разность между рассчитанным значением t -критерия и табличным для уровня значимости 0,05 более чем в три раза меньше, чем для уровня значимости 0,01. Средние результаты измерений потенциала характеризуют одно и то же математическое ожидание, величина которого, согласно [Смагунова, Карпукова, 2008], составила:

$$U = (1009,71 + 1013,46) / 2 = \\ = 1\,011,59 \text{ мВ.}$$

Для контроля полученных результатов был выполнен повторный эксперимент в период с 31.12.2024 по 09.01.2025. Результаты контрольных испытаний, произведенных в автоматизированном режиме в период с 31.12.2024 по 09.01.2025, представлены в таблице 3.

Результаты статистической обработки данных повторного эксперимента, проведенного в период времени с 31.12.2024 по 09.01.2025, представлены в таблице 4.

Таблица 3. Результаты контрольных испытаний, проведенных в автоматизированном режиме в период с 31.12.2024 по 09.01.2025

Table 3. Results of control tests conducted in automated mode in the period from 31.12.2024 to 09.01.2025

№ п/п	Результаты контроля потенциала, полученные с помощью электрода сравнения «Менделеевец»										
	Численное значение результата измерения, мВ	Количество полученных результатов в день									
		31.12.24	01.01.25	02.01.25	03.01.25	04.01.25	05.01.25	06.01.25	07.01.25	08.01.25	09.01.25
1	995	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2
2	996	–	–	1	1	–	–	–	2	2	3
3	997	3	1	2	–	–	3	1	1	3	1

Окончание таблицы 3

The End of the Table 3

№ п/п	Результаты контроля потенциала, полученные с помощью электрода сравнения «Менделеевец»										
	Числен- ное зна- чение результата изме- рения, мВ	Количество полученных результатов в день									
		31.12.24	01.01.25	02.01.25	03.01.25	04.01.25	05.01.25	06.01.25	07.01.25	08.01.25	09.01.25
4	998	3	3	–	2	4	2	3	4	1	2
5	999	2	4	1	3	3	–	1	–	–	–
6	1 000	3	2	3	3	3	1	1	–	1	1
7	1 001	2	2	3	4	1	2	2	1	–	1
8	1 002	–	–	–	1	3	–	–	4	2	1
9	1 003	1	–	3	1	–	2	4	–	–	–
10	1 004	2	–	–	–	1	2	2	1	2	2
11	1 005	1	–	–	1	1	1	1	–	–	–
12	1 006	–	–	–	–	–	1	–	1	1	–
13	1 007	–	2	1	–	1	2	–	–	1	–
14	1 008	–	1	–	–	1	–	2	–	1	1
15	1 009	–	–	1	–	2	–	–	2	3	–
16	1 010	1	2	–	1	1	1	1	–	1	2
17	1 011	1	3	1	2	–	1	–	–	2	–
18	1 012	–	1	1	2	2	–	2	1	–	2
19	1 013	1	–	1	–	–	1	–	1	2	2
20	1 014	–	–	1	–	–	–	1	–	1	–
21	1 015	2	–	2	–	–	1	–	2	–	1
22	1 016	3	3	1	–	1	–	–	2	–	5
23	1 017	–	2	3	2	–	2	4	–	5	6
24	1 018	7	6	7	7	7	13	8	11	8	7
25	1 019	6	6	6	11	9	10	8	8	7	7
26	1 020	5	7	7	5	6	3	4	4	5	2
27	1 021	4	3	2	1	1	–	3	1	–	–
28	1 022	1	–	1	1	1	–	–	2	–	–
29	1 023	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
30	Суммар- ное ко- личество измере- ний в день	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48

Таблица 4. Результаты статистической обработки данных эксперимента, проведенного в период времени с 31.12.2024 по 09.01.2025

Table 4. Results of statistical processing of data from the experiment conducted in the period from 31.12.2024 to 09.01.2025

Показатели экспери- мента	Значения показателей, полученных при контрольных испытаниях с 31.12.2024 по 09.01.2025										
	Дата	31.12.24	01.01.25	02.01.25	03.01.25	04.01.25	05.01.25	06.01.25	07.01.25	08.01.25	09.01.25
Интервал значений измерения потенциала, мВ		997– 1 021	997– 1 021	996– 1 022	996– 1 021	998– 1 022	997– 1 020	997– 1 021	996– 1 022	996– 1 020	995– 1 020

Окончание таблицы 4

The End of the Table 4

Показатели эксперимента	Значения показателей, полученных при контрольных испытаниях с 31.12.2024 по 09.01.2025									
Дата	31.12.24	01.01.25	02.01.25	03.01.25	04.01.25	05.01.25	06.01.25	07.01.25	08.01.25	09.01.25
Количество измерений в выборке, n	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
Среднее значение потенциала, U_{cp} , мВ	1 011,65	1 012,15	1 012,67	1 011,90	1 011,42	1 012,40	1 012,27	1 012,50	1 011,98	1 011,58
Дисперсия, S_n^2 , (мВ) ²	81,02	70,71	68,68	76,01	74,53	64,28	65,91	73,42	63,48	71,58
Стандартное отклонение, S_m , мВ	9,10	8,50	8,38	8,81	8,72	8,10	8,20	8,66	8,05	8,55
Коэффициент вариации, %	0,90	0,84	0,83	0,87	0,86	0,80	0,81	0,86	0,80	0,85

Для оценки значимости расхождения средних результатов измерений выполнили проверку однородности дисперсий с использованием критерия Кохрена [Смагунова, Карпукова, 2008]:

$$G_{\max} = S_{\max}^2 / (S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + S_4^2 + S_5^2 + S_6^2 + S_7^2 + S_8^2 + S_9^2 + S_{10}^2) =$$

$$= 81,02 / (81,02 + 70,71 + 68,68 + 76,01 + 74,53 + 64,28 + 65,91 + 73,42 + 63,48 + 71,58) = 0,1141;$$

Далее было выполнено сравнение рассчитанного значения критерия Кохрена с табличным значением и установлено, что

$$G_{\max} < G_{\max}(0,05; m; f);$$

$$G_{\max} = 0,1141 < G_{\max}(0,05; m = 10; f = 47) = 0,1620.$$

Следовательно, дисперсии однородны, и поэтому результаты измерений равнозначны при доверительной вероятности 0,95.

Далее была произведена оценка достоверности средних результатов значений потенциала по t -критерию Стьюдента [Смагунова, Карпукова, 2008].

Для сравнения использовались наиболее расходящиеся по значениям средние результаты измерений:

$$U_{cp5} = 1\,011,42 \text{ мВ и } U_{cp3} = 1\,012,67 \text{ мВ.}$$

Так как дисперсии однородны, было определено среднее значение дисперсий:

$$S_{cp}^2 = (S_5^2 + S_3^2) / 2 =$$

$$= (74,53 + 68,68) / 2 = 71,605 \text{ (мВ)}^2$$

Среднее стандартное отклонение составило 8,46 мВ.

Далее был рассчитан t -критерий:

$$t = \frac{|U_{cp3} - U_{cp5}|}{\sqrt{S_{cp}^2}} \cdot \sqrt{\frac{n_3 \cdot n_5}{n_3 + n_5}};$$

$$t = \frac{|1012,67 - 1011,42|}{\sqrt{71,605}} \cdot \sqrt{\frac{48 \cdot 48}{48 + 48}} = 0,72;$$

где t – значение t -критерия Стьюдента;

U_{cp3} – среднее значение результатов третьей выборки;

U_{cp5} – среднее значение результатов пятой выборки;

S_{cp}^2 – среднее значение сравниваемых дисперсий;

n_3 – число членов в третьей выборке;

n_5 – число членов в пятой выборке.

Полученный результат сравнивался с табличным значением для доверительной вероятности 0,95:

$$t < t(0,05; 94) = 1,99.$$

Статистическая обработка показала, что расхождение между средними результатами измерений, полученными в период с 31.12.2024 по 09.01.2025, носит случайный характер; различие между средними результатами измерений потенциала статистически незначимо; средние результаты измерений потенциала характеризует одно и то же математическое ожидание, величина которого согласно [Смагунова, Карпукова, 2008]:

$$U = (1012,67 + 1011,42) / 2 = 1\,012,04 \text{ мВ}.$$

Из результатов проведенного эксперимента следует:

а) результаты единичных контрольных измерений находятся в интервале значений от 996 до 1 023 мВ;

б) выходные значения коэффициента вариации результатов измерений находятся в интервале значений от 0,76 до 0,91%. Таким образом, выборки результатов единичных измерений в период времени с 31.12.2025 по 09.01.2025 можно считать достоверными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы и дать рекомендации:

Автоматизированный метод контроля технического состояния цинковых элект-

родов сравнения может быть использован на морских судах.

Для получения достоверных результатов контроля технического состояния цинковых электродов сравнения необходимо использовать автоматизированные измерительные устройства и программное обеспечение обработки результатов контрольных испытаний.

Результаты эксперимента подтверждают возможность использования на морских судах автоматизированного метода контрольных испытаний Zn-ЭС.

Продолжительность контрольных испытаний Zn-ЭС сокращается в 12 раз по сравнению со способом, предложенным авторами исследования [Патент 2685459, 2017].

Расходы на выполнение технического контроля Zn-ЭС снижаются примерно в 20 раз по сравнению с традиционно применяемым ХСЭ.

ЛИТЕРАТУРА

- Белов О.А., Ястребов Д.П., Рогожников А.О. и др. 2020. Разработка автоматизированной системы контроля протекторной защиты корпусов рыбопромысловых судов. *Материалы XI Национальной (всероссийской) научно-практической конференции «Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование»*. Петропавловск-Камчатский: Издательство КамчатГТУ. С. 82–85.
- ГОСТ 9.056-75. 1986. Стальные корпуса кораблей и судов. Общие требования к электрохимической защите. Введ. 1976-07-01. Москва: Издательство стандартов. 20 с.
- ГОСТ 26501-85. 1985. Корпуса морских судов. Общие требования к электрохимической защите. Москва: Издательство стандартов. 7 с.

- Зобочев Ю.Е., Солинская Э.В. 1984. Защита судов от коррозии и обрастания. Москва: Транспорт. 174 с.
- Коробцов И.М. 1975. Техническое обслуживание и ремонт флота. Москва: Транспорт. 195 с.
- Патент 2685459. 2017. Установка для испытаний электродов сравнения в морских условиях: Российская Федерация, МПК G01N 17/02, C23F 13/16. А.Ю. Копысов, В.Ю. Корзинин, А.В. Гончаров и др.; заявитель и патентообладатель Публичное акционерное общество «Транснефть» (ПАО «Транснефть») (RU); Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта» (ООО «НИИ Транснефть») (RU). № 2017136074.
- РЗК-НК-01. 2001. Руководство по защите корпусов надводных кораблей ВМФ от коррозии и обрастания. Москва: Военное издательство. 258 с.
- Смагунова А.Н., Карпукова О.М. 2008. Методы математической статистики в аналитической химии. Иркутск: Издательство Иркутского государственного университета. 339 с.
- Чендлер К.А. 1988. Коррозия судов и морских сооружений. Ленинград: Судостроение. 320 с.
- Швецов В.А., Белов О.А., Белозеров П.А. и др. 2016. Контроль систем протекторной защиты стальных судов и кораблей. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ. 109 с.
- Ястребов Д.П., Белов О.А., Рогожников А.О. и др. 2025а. К вопросу совершенствования метода контрольных испытаний судовых ХСЭ. *Морские интеллектуальные технологии*. № 1-1 (67). С. 82–87.
- Ястребов Д.П., Белов О.А., Рогожников А.О. и др. 2025б. Экспериментальное обоснование возможности внедрения автоматизированного метода неразру-

шающего технического контроля отдельных судовых протекторов. *Морские интеллектуальные технологии*. № 2-1 (68). С. 107–112.

REFERENCES

- Belov O.A., Yastrebov D.P., Rogozhnikov A.O. et al. 2020. Development of an automated system for monitoring the protector protection of fishing vessels. *Proceedings of the 11th National (All-Russian) scientific and practical conference “Natural resources, their current state, protection, commercial and technical use”*. Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatGTU Publ. P. 82–85 (in Russian).
- GOST 9.056-75. 1986. Steel hulls of ships and vessels. General requirements for electrochemical protection. Introduced 1976-07-01. Moscow: Publishing House of Standards. 20 p. (in Russian).
- GOST 26501-85. 1985. Marine vessel hulls. General requirements for electrochemical protection. Moscow: Publishing House of Standards. 7 p. (in Russian).
- Zobochev Yu.E., Solinskaya E.V. 1984. Protection of ships from corrosion and fouling. Moscow: Transport Publ. 174 p. (in Russian).
- Korobtsov I.M. 1975. Maintenance and repair of the fleet. Moscow: Transport Publ. 195 p. (in Russian).
- Patent 2685459. 2017. Installation for testing reference electrodes in marine conditions: Russian Federation, IPC G01N 17/02, C23F 13/16. A.Y. Kopysov, V.Y. Korzinin, A.V. Goncharov et al.; applicant and patent holder Public Joint Stock Company Transneft (PJSC Transneft) (RU); Company with Limited Liability Company Scientific Research Institute of Pipeline Transport (ООО НИИ Транснефть) (RU). № 2017136074 (in Russian).

- RZK-NK-01. 2001. Guide to protecting the hulls of naval surface ships from corrosion and fouling. Moscow: Military Publishing House. 258 p. (in Russian).
- Smagunova A.N., Karpukova O.M. 2008. Methods of mathematical statistics in analytical chemistry. Irkutsk: Irkutsk State University Publishing House. 339 p. (in Russian).
- Chandler K.A. 1988. Corrosion of ships and marine structures. Translated from English. Leningrad: Sudostroenie Publ. 320 p. (in Russian).
- Shvetsov V.A., Belov O.A., Belozerov P.A. et al. 2016. Control of the protector protection systems of steel vessels and ships. Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatGTU Publ. 109 p. (in Russian).
- Yastrebov D.P., Belov O.A., Rogozhnikov A.O. et al. 2025a. On the improvement of the method of control tests of shipboard HSE. *Morskiye intellektual'nyye tekhnologii (Marine Intellectual Technologies)*. № 1-1(67). P. 82–87 (in Russian).
- Yastrebov D.P., Belov O.A., Rogozhnikov A.O. et al. 2025b. Experimental substantiation of the possibility of introducing an automated method of non-destructive technical control of individual ship protectors. *Morskiye intellektual'nyye tekhnologii (Marine Intellectual Technologies)*. № 2–1(68). P. 107–112 (in Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATIONS ABOUT THE AUTHORS

Горбачев Максим Михайлович – Астраханский государственный технический университет; 414056, Россия, Астрахань; доктор технических наук, доцент, доцент кафедры «Эксплуатация водного транспорта и промышленное рыболовство»; max9999_9@mail.ru. SPIN-код: 6103-6121, Author ID: 880312.

Gorbachev Maxim Mikhailovich – Astrakhan State Technical University; 414056, Russia, Astrakhan; Doctor of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of Operation of Water Transport and Industrial Fishing Chair; max9999_9@mail.ru. SPIN-code: 6103-6121, Author ID: 880312.

Ястребов Дмитрий Павлович – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; старший преподаватель кафедры «Энергетические установки и электрооборудование судов»; restart1101@mail.ru. SPIN-код: 4094-2326, Author ID: 1049650.

Yastrebov Dmitry Pavlovich – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Senior Lecturer of Power Plants and Electrical Equipment of Ships Chair; restart1101@mail.ru. SPIN-code: 4094-2326, Author ID: 1049650.

Белафина Ольга Александровна – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; кандидат химических наук, заведующий сектором отдела науки и инноваций; oni@kamchatgtu.ru. SPIN-код: 3647-4760, Author ID: 646191; Scopus ID: 36695962700.

Belavina Olga Alexandrovna – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Candidate of Chemical Sciences, Head of Sector of Science and Innovation Department; oni@kamchatgtu.ru. SPIN-code: 3647-4760, Author ID: 646191; Scopus ID: 36695962700.

Рогожников Алексей Олегович – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; старший преподаватель кафедры «Энергетические установки и электрооборудование судов»; aleksei17_90@mail.ru. SPIN-код: 2716-6710, Author ID: 1126089.

Rogozhnikov Alexey Olegovich – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Senior Lecturer of Power Plants and Electrical Equipment of Ships Chair; aleksei17_90@mail.ru. SPIN-code: 2716-6710, Author ID: 1126089.

Швецов Владимир Алексеевич – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; доктор химических наук, доцент, профессор кафедры «Энергетические установки и электрооборудование судов». SPIN-код: 1039-0677, Author ID: 645860; Scopus ID: 7006599046.

Shvetsov Vladimir Alekseevich – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Doctor of Chemical Sciences, Docent, Associate Professor of Power Plants and Electrical Equipment of Ships Chair. SPIN-code: 1039-0677, Author ID: 645860; Scopus ID: 7006599046.

Статья поступила в редакцию 29.08.2025; одобрена после рецензирования 30.10.2025; статья принята к публикации 18.12.2025.

The article was submitted 29.08.2025; approved after reviewing 30.10.2025; accepted for publication 18.12.2025.

Для цитирования: Горбачев М.М., Ястребов Д.П., Белавина О.А., Рогожников А.О., Швецов В.А. 2025. Разработка метода контрольных испытаний цинковых электродов сравнения «Менделеевец». *Вестник Камчатского государственного технического университета*. Вып. 74. С. 8–21. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2025-74-8-21>.

For citation: Gorbachev M.M., Yastrebov D.P., Belavina O.A., Rogozhnikov A.O., Shvetsov V.A. 2025. Development of a method of control comparison electrodes “Mendeleevets”. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. Iss. 74. P. 8–21 (in Russian). <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2025-74-8-21>.

Научная статья

УДК 699.887.3

DOI: 10.17217/2079-0333-2025-74-22-31

ВЫЯВЛЕНИЕ КЛЮЧЕВЫХ ДЕТЕРМИНАНТ РАДОНООПАСНОСТИ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Калашникова М.В.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А.

Исследование посвящено решению актуальной проблемы оценки радиационной безопасности среды обитания человека. В работе проводится комплексный анализ ключевых детерминант, формирующих уровень облучения населения за счет ингаляционного поступления дочерних продуктов распада природных радионуклидов. Методологическая основа исследования сочетает инструментальный мониторинг, статистическую обработку данных с применением современных алгоритмов машинного обучения и последующий анализ выявленных закономерностей. В результате проведенной работы установлен доминирующий вклад временного фактора, существенно превышающий совокупное влияние других рассматриваемых параметров строительных конструкций. Выявлены значимые нелинейные зависимости и эффекты взаимодействия, определяющие пространственно-временную вариабельность исследуемого показателя. Полученные результаты свидетельствуют о критической важности учета возрастного параметра объектов при разработке моделей прогнозирования и систем управления радиационными рисками.

Ключевые слова: год постройки, градиентный бустинг, жилые здания, радиационный риск, радон, торон, эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА).

Original article

IDENTIFICATION OF KEY DETERMINANTS OF RADON HAZARD IN URBANIZED TERRITORIES

Kalashnikova M.V.

Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint Petersburg, Bolshaya Morskaya Str. 67, liter A.

The study is dedicated to solving the urgent problem of assessing the radiation safety of the human environment. The paper provides a comprehensive analysis of the key determinants that form the level of exposure of the population due to the inhalation intake of daughter products of the decay of natural radionuclides. The methodological basis of the research combines instrumental monitoring, statistical data processing using modern machine learning algorithms and subsequent analysis of the identified patterns. As a result, the dominant contribution of the time factor has been established, significantly exceeding the cumulative influence of other considered parameters of building structures. Significant nonlinear dependencies and interaction effects determining the spatial and temporal variability of the studied indicator are revealed. The results obtained indicate the critical importance of taking into account the age parameter of objects when developing forecasting models and radiation risk management systems.

Key words: year of construction, gradient boosting, residential buildings, radiation risk, radon, thoron, equivalent equilibrium volumetric activity (EEVA).

ВВЕДЕНИЕ

Согласно данным Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ) и Научного комитета ООН по действию атомной радиации (НКДАР), природные источники ионизирующего излучения формируют приблизительно 80% среднегодовой эффективной дозы облучения населения. Особую значимость в структуре этой дозы представляет ингаляционное поступление дочерних продуктов распада радона, концентрация которых в воздухе помещений обуславливает от 50 до 60% общей дозы облучения [Радон..., 2025]. Пространственное распределение радона определяется сложным взаимодействием множества факторов, включая региональные геологические особенности, литолого-петрографические характеристики грунтов, год постройки, конструктивные решения зданий и физико-химические свойства строительных материалов. Несмотря на признание важности проблемы радиационной безопасности, комплексная оценка относительного вклада ключевых детерминант, в частности возраста зданий и связанных с ним изменений эксплуатационных характеристик строительных конструкций, остается актуальной научной задачей, требующей междисциплинарного подхода и разработки новых методических решений.

В настоящей работе мы провели измерения эквивалентной объемной активности радона и торона в воздушной среде жилых зданий на территории г. Санкт-Петербурга в период 2021–2023 гг. Были изучены закономерности пространственно-временного распределения среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности дочерних продуктов распада этих газов в воздухе помещений, а также характер и относительная сила влияния на это распределение факторов среды. Целью прове-

денного исследования является выявление и оценка относительного вклада ключевых детерминант в формирование среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности дочерних продуктов их распада с учетом неопределенности оценки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В ходе исследований, проводившихся в период с 2021 по 2023 гг. на территории г. Санкт-Петербурга, было выполнено 127 измерений эквивалентной объемной активности радона и его дочерних продуктов распада в воздушной среде помещений. Измерения осуществлялись с применением специализированных радиометрических комплексов РАА-3-01 «АльфаАЭРО» и РАА-20П2. Для анализа исследованных зданий были определены ключевые параметры строительных конструкций: год постройки, тип фундамента и пористость материалов. Выборка включала здания, введенные в эксплуатацию в период с 1854 по 2022 год. Анализируемые объекты имели три основных типа фундамента: свайный, сплошной (плитный) и ленточный, что позволило оценить влияние данной конструктивной особенности на радоноопасность.

Для исследования данного вопроса были использованы сочетание теоретического и эмпирического подхода. Теоретическая часть включала анализ научной литературы и нормативных документов с применением дедукции, сравнения и моделирования процессов миграции радона. Эмпирическая база основана на инструментальных измерениях эквивалентной объемной активности радона и торона.

Методические указания МУ 2.6.1.037-2015 «Определение среднегодовых значений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений по результатам измерений разной

длительности» содержат математические выражения для вычисления и последующей оценки среднегодовых значений эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) дочерних продуктов распада как радона, так и торона в воздушной среде помещений. В указанном документе также представлены методологии оценки неопределенности для указанных среднегодовых величин ЭРОА, а также для их суммарного значения [МУ 2.6.1.037-2015]. Среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность дочерних продуктов радона и торона в воздухе рассчитывается по формуле (1):

$$\overline{\text{ЭРОА}} = \text{ЭРОА}_{Ra} + 4,6 \cdot \text{ЭРОА}_{Tn}, \quad (1)$$

где $\overline{\text{ЭРОА}}$ – среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность дочерних продуктов радона и торона в воздухе, Бк/м³;

ЭРОА_{Ra} – измеренное значение эквивалентной равновесной объемной активности радона, Бк/м³;

ЭРОА_{Tn} – измеренное значение эквивалентной равновесной объемной активности торона, Бк/м³.

Неопределенность оценки среднегодовой ЭРОА изотопов радона (Бк/м³) рассчитывают по формуле (2) [МУ 2.6.1.037-2015]:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_{\text{Э}Ra}^2 + (4,6 \cdot \Delta_{\text{Э}Tn}^2)}, \quad (2)$$

где Δ – неопределенность оценки среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности изотопов радона, Бк/м³;

$\Delta_{\text{Э}Ra}$ – инструментальная погрешность измерения эквивалентной равновесной объемной активности радона, Бк/м³;

$\Delta_{\text{Э}Tn}$ – инструментальная погрешность измерения эквивалентной равновесной объемной активности торона, Бк/м³.

Далее определим среднегодовую эквивалентную равновесную объемную активность радона в воздухе исследуемых зданий с учетом неопределенности измерений по формуле (3) [МУ 2.6.1.037-2015]:

$$\overline{\text{ЭРОА}} + \Delta < \text{ЭРОА}_н, \quad (3)$$

где Δ – неопределенность оценки среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности изотопов радона, Бк/м³;

$\overline{\text{ЭРОА}}$ – среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность дочерних продуктов радона и торона в воздухе, Бк/м³;

$\text{ЭРОА}_н$ – значение норматива согласно действующим нормативным документам, Бк/м³.

Для выявления пространственных выбросов в массиве экспериментальных данных был применен алгоритм k -ближайших соседей (k -NN) и метод межквартильного размаха (IQR) [Aggarwal, 2017; ГОСТ Р ИСО 16269-4-2017]. В результате было идентифицировано и удалено семь точек данных, что составило 5,5% от первоначального объема выборки.

На последующем этапе подготовки признаков к статистическому моделированию была проведена специфическая трансформация номинальной категориальной переменной «тип фундамента». В ходе данного преобразования для каждой из трех исходных категорий фундамента: «ленточный», «свайный» и «сплошной» были сгенерированы отдельные ортогональные бинарные векторы [Дьяконов, 2014; Samuels, 2024]. Для устранения выраженной правосторонней асимметрии, наблюдаемой в эмпирическом распределении значений среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности дочерних продуктов распада радона и торона с учетом неопределенности оценки, было применено преобразование Бокса – Кокса

[Вох, Сох, 1964]. Параллельно с этим, в целях унификации масштаба измерений и обеспечения сопоставимости влияния разнородных факторов, все числовые предикторы, включая трансформированную целевую переменную (ЭРОА) были подвергнуты процедуре линейной нормализации в единый диапазон $[0, 1]$ [Старовойтов, Голуб, 2021].

Завершающей стадией выступил комплексный анализ взаимосвязей между переменными, реализованный посредством построения корреляционной матрицы. Итоговая корреляционная матрица, являющаяся результатом данного этапа, представлена на рисунке 1.

В рамках исследования решается задача идентификации наиболее информативных предикторов из множества независимых переменных, оказывающих существенное влияние на целевую переменную. С методологической точки зрения данная проблема формулируется как поиск оптимального подмножества признаков, которое максимизирует объяснительную способность прогнозной модели. Для оценки относительного вклада предикторов применяется анализ важности признаков (feature importance), методологическая база которого интегрирована непосредственно в алгоритм градиентного бустинга. Сущность данного подхода основана на принципе уменьшения неопределенности, в соответствии с которым для каждого фактора вычисляется интегральный показатель информативности. Этот показатель количественно представляет собой суммарное снижение дисперсии целевой переменной, достигнутое во всех узлах всех деревьев ансамбля при осуществлении разбиений по данному конкретному признаку. Для решения поставленной задачи используется метод аддитивного моделирования, в рамках которого прогноз для каждого наблю-

дения формируется как сумма K отдельных аддитивных функций, что представлено в формуле (4):

$$\hat{y}_i = \sum_{k=1}^k f_k(X_i), \quad (4)$$

где \hat{y}_i – предсказанное значение для i -й точки;

$f_k(X_i)$ – функция, которая принадлежит подмножеству классификационных и регрессионных деревьев (CART);

k – количество деревьев (итераций бустинга).

Класс функций, которые определяются по формуле (5):

$$\text{CART} = \{f(X) = w_{q(x)}\} (q: R^m \rightarrow T, w \in R^T), \quad (5)$$

где $f(X)$ – предсказывает значение (класс или число) для входного вектора X ;

$q(X)$ – описывает дерево, вершинами которого являются правила относительно значений X ;

$f(X) = w_{q(x)}$ – выход дерева для объекта X ;

$q: R^m \rightarrow T$ – функция q отображает вектор признаков $w \in R^T$ в лист дерева T ;

R^m – пространство признаков;

T – множество листьев дерева (терминальных узлов);

$w \in R^T$ – вектор весов всех листьев дерева.

В основе применяемого метода CART (Classification and Regression Trees) лежит аппроксимация целевой зависимости с помощью древовидной структуры, где функция $f_k(X)$ формируется посредством отображения $q(X)$, определяющего принадлежность наблюдения X_i к одному из терминальных узлов (листьев) дерева T . Каждому такому узлу ставится в соответ-

ствие весовой коэффициент w , выступающий прогнозным значением модели для всех наблюдений, попавших в данный лист. Таким образом, функция $f_k(X)$ параметризуется как структурой дерева $q(X)$, так и вектором весов w . Процесс обучения модели представляет собой минимизацию регуляризованного функционала L , который объединяет функцию потерь, оценивающую совокупное отклонение прогнозов от эмпирических значений, и регуляризационный член, штрафующий за сложность дерева (например, его глубину или количество узлов) с целью предотвращения переобучения. Оптимизация данного функционала осуществляется итеративно с использованием градиентного спуска: на каждом шаге вычисляется антиградиент ∇L , задающий направление наискорейшего убывания ошибки, и производится коррек-

тировка параметров (q, w) , что обеспечивает снижение ошибки предсказания при одновременном ограничении сложности модели. Данная процедура регуляризации способствует селекции наиболее значимых признаков и построению компактных деревьев, достигающих баланса между точностью и интерпретируемостью.

Полученные в результате вычислений абсолютные величины важности были подвергнуты процедуре относительной нормализации. Суть данной процедуры заключалась в преобразовании абсолютных значений в проценты от общей суммы вкладов всех рассматриваемых признаков. Такое преобразование обеспечило получение сопоставимых и интерпретируемых оценок относительного влияния каждого отдельного фактора [Шульгин, 2018].

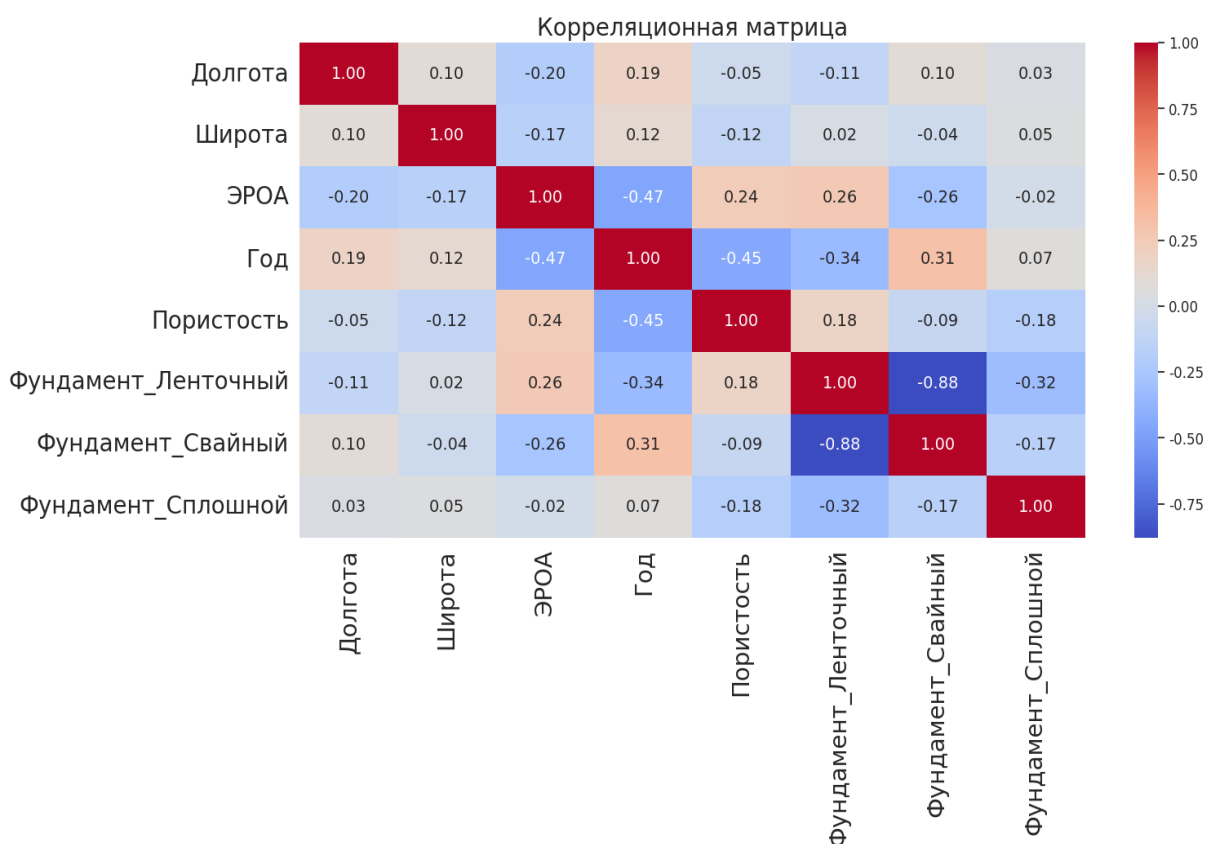


Рис. 1. Корреляционная матрица Пирсона

Fig. 1. Pearson correlation matrix

Вычислительная процедура включала последовательное ранжирование всех предикторов в соответствии со степенью их влияния на минимизацию целевой функции потерь модели. Факторы, вносящие максимальный вклад в снижение неопределенности прогноза, признавались доминирующими детерминантами.

Для повышения точности прогнозной модели, построенной на основе градиентного бустинга, в исследовании применялся расширенный набор признаков, включающий как исходные параметры, так и их нелинейные преобразования. Особое внимание уделялось учету сложного характера взаимосвязей между возрастом зданий и уровнем радоноопасности. С этой целью в модель был введен квадратичный компонент «Год_кв», представляющий собой квадрат года постройки. Это преобразование позволяет учитывать нелинейную динамику изменения защитных свойств строительных конструкций во времени. В частности, оно дает модели возможность описать ускоренное изменение барьерных характеристик материалов в определенные периоды эксплуатации зданий, что особенно важно при анализе зданий с большой разницей в возрасте. Дополнительно анализировался комбинированный эффект взаимодействия «Год_пористость», позволяющий оценить, как сочетание временного фактора и структурных характеристик строительных материалов влияет на их барьерные свойства по отношению к миграции радона.

Ключевым методологическим достоинством примененного подхода является его инвариантность к масштабу измерения исходных переменных, а также его способность эффективно учитывать сложные нелинейные взаимодействия и зависимости между факторами, что часто остается недоступным для более простых линейных

методов. Необходимо особо подчеркнуть, что в условиях присутствия мультиколлинеарности (высокой корреляции между предикторами) алгоритм оценки важности автоматически корректирует распределение значимости. Эта корректировка заключается в пропорциональном распределении общего вклада между статистически связанными предикторами в соответствии с их индивидуальной объяснительной способностью, что повышает адекватность интерпретации результатов. Визуальное представление относительного вклада каждого предиктора в прогнозирование среднегодовой ЭРОА радона и торона приведено на рисунке 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Качественная оценка в рамках данного исследования осуществлялась на основе общепринятой в корреляционном анализе классификационной шкалы Чеддока. Среди анализируемых факторов ключевым детерминантом, демонстрирующим наибольшее влияние, выступил год постройки зданий. Установлена умеренная отрицательная корреляция ($r = -0,47$) между возрастом постройки и среднегодовой ЭРОА дочерних продуктов радона и торона с учетом неопределенности оценки. Выявленная зависимость указывает на систематически более высокие концентрации радона в зданиях ранних периодов возведения. Данный феномен может быть объяснен совокупностью причин, включая естественную деградацию строительных материалов со временем, снижение их барьерных свойств.

Анализ параметра пористости строительных материалов выявил наличие слабой, но статистически значимой положительной корреляции ($r = 0,24$) со среднегодовой ЭРОА. Эта выявленная связь

находится в полном соответствии с общепринятыми физическими моделями, описывающими процессы миграции радона через пористые среды, где увеличение пористости материалов способствует более интенсивному проникновению и накоплению газа.

Параллельно была обнаружена умеренная отрицательная корреляция ($r = -0,45$) между годом постройки и пористостью материалов. Эта взаимосвязь отражает эволюцию строительных технологий и практик подбора материалов: современные здания (соответствующие более поздним годам постройки) характеризуются применением материалов с существенно меньшей пористостью по сравнению со зданиями, возведенными в более ранний период.

Ленточные фундаменты продемонстрировали слабую положительную корреляцию с ростом среднегодовой ЭРОА ($r = 0,26$),

что может быть обусловлено повышенной склонностью таких конструкций к деформациям в условиях местных грунтовых особенностей, а также ограниченной вентилиацией подпольных пространств, способствующей аккумуляции радона. В противоположность этому свайные фундаменты проявили защитный эффект ($r = -0,26$), вероятно, благодаря улучшенной естественной аэрации подпольной зоны, обеспечивающей эффективное рассеивание газа. Сплошные плитные фундаменты не показали статистически значимой связи с целевой переменной ($r = -0,02$). Также была выявлена сильная отрицательная корреляция (до $r = -0,88$) между бинарными индикаторами типов фундаментов, что является ожидаемым результатом применения метода One-Hot Encoding и отражает принцип взаимного исключения категорий.

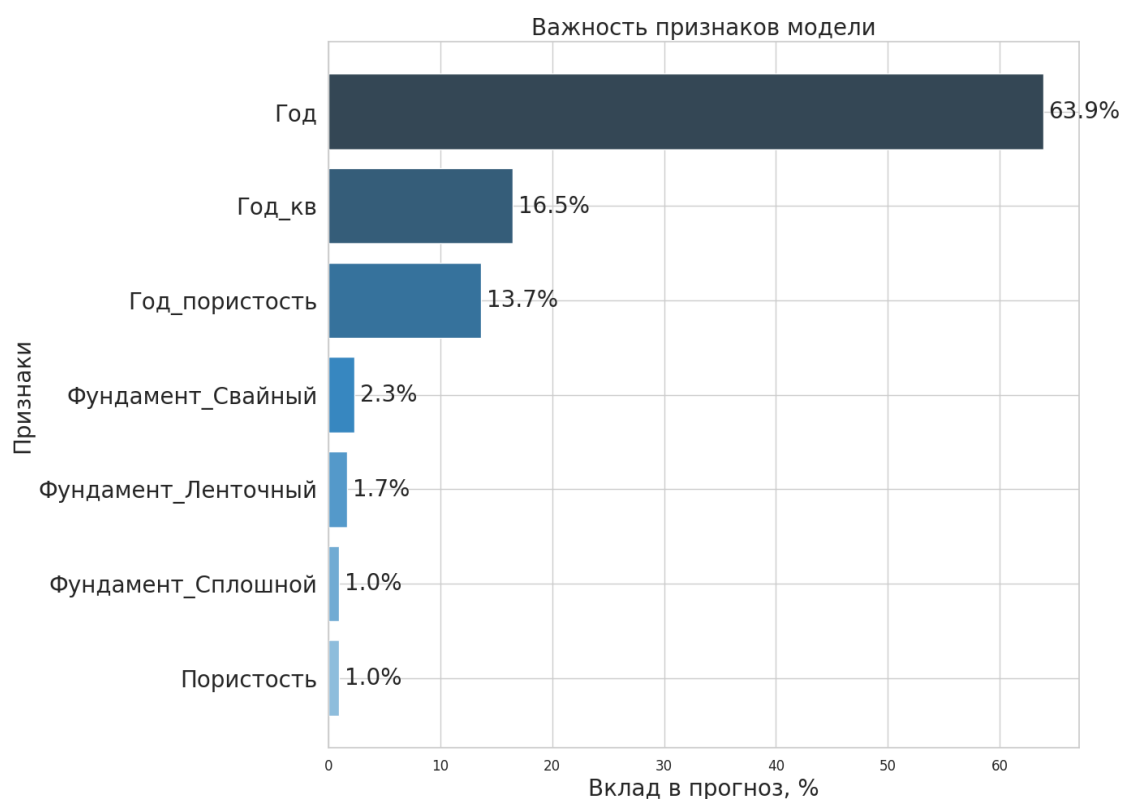


Рис. 2. Относительный вклад предикторов в прогнозирование среднегодовой ЭРОА радона и торона (градиентный бустинг)

Fig. 2. Relative contribution of predictors to the prediction of the average annual erosion of radon and thoron (gradient boosting)

Ключевым выводом данного анализа является выявление выраженного доминирования временных характеристик среди всех рассматриваемых факторов. В частности, признак «Год постройки» демонстрирует исключительно высокий относительный вклад, достигающий 63,9% от общей объясняющей способности модели. Это значение существенно превышает совокупное влияние всех остальных анализируемых предикторов. Важно отметить, что нелинейные аспекты временного фактора также вносят значимый дополнительный вклад: квадратичная компонента времени и эффект взаимодействия временного фактора с параметром пористости строительных материалов составляют 16,5 и 13,7% соответственно. Таким образом, кумулятивный вклад исключительно временных характеристик и их преобразований превышает 90% от общей объясняющей способности модели, что подчеркивает их исключительную роль в объяснении вариативности целевой переменной.

В противоположность этому категориальные переменные, описывающие тип фундамента зданий, а именно: «свайный» (2,3%), «ленточный» (1,7%) и «сплошной» (1,0%) а также исходный непрерывный признак «пористость материалов» (1,0%), демонстрируют статистически незначимый индивидуальный вклад в прогнозирование целевой переменной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование выявило доминирующее влияние временного фактора на распределение среднегодовой ЭРОА радона и торона с учетом неопределенности оценки в жилых зданиях г. Санкт-Петербурга. Метод градиентного бустинга показал, что год постройки объясняет 63,9% вариативности concentra-

ций, а с учетом нелинейных эффектов его вклад превышает 90%. Географические координаты продемонстрировали статистически незначимое влияние, в то время как тип фундамента и пористость материалов показали слабые и статистически неоднозначные связи. Полученные результаты свидетельствуют о критической важности учета возраста зданий при оценке радоноопасности, особенно для исторической застройки, и обосновывают приоритет этого параметра в системах прогнозирования и управления радиационными рисками. Доминирование возрастного фактора свидетельствует о необходимости разработки специализированных нормативных требований для зданий различного периода постройки, особенно для объектов культурного наследия и старого жилого фонда. Полученные результаты открывают перспективы для создания прогнозных моделей, что позволит осуществлять превентивный контроль радиационной безопасности урбанизированных территорий. Внедрение выявленных закономерностей в практику градостроительного планирования и эксплуатации зданий будет способствовать оптимизации систем управления радиационными рисками и повышению эффективности защитных мероприятий.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ Р ИСО 16269-4-2017. Статистические методы. Статистическое представление данных. Часть 4. Выявление и обработка выбросов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200146680> (дата обращения: 02.04.2025).
- Дьяконов А.Г. 2014. Методы решения задач классификации с категориальными признаками. *Прикладная математика и информатика: труды факультета ВМК МГУ имени М.В. Ломоносова*.

- Т. 46. Москва: МАКС Пресс. С. 103–127. EDN: XHMFSJ.
- МУ 2.6.1.037-2015. Определение среднегодовых значений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений по результатам измерений разной длительности. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293746/4293746323.htm> (дата обращения: 13.05.2024).
- Радон: история, свойства, значение. URL: <https://www.irb.basnet.by/ru/radon-istoriya-svoystva-znachenie/> (дата обращения: 11.11.2025).
- Старовойтов В.В., Голуб Ю.И. 2021. Нормализация данных в машинном обучении. *Информатика*. Т. 18. № 3. С. 83–96.
- Шульгин С.Г. 2018. Отбор переменных для анализа и прогнозирования нестабильности с помощью моделей градиентного бустинга. *Системный мониторинг глобальных и региональных рисков. Социально-политическая и экономическая дестабилизация: анализ страновых и региональных ситуаций в мир-системном аспекте: ежегодник*. Том 9. Волгоград: Учитель. С. 115–153. EDN: JFUHQP.
- Aggarwal C.C. 2017. Proximity-based outlier detection. *Outlier analysis*. Cham: Springer. P. 111–147.
- Box G.E.P., Cox D.R. 1964. An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*. Vol. 26. № 2. P. 211–243.
- Samuels J.I. 2024. One-hot encoding and two-hot encoding: an introduction. Imperial College: London, England. DOI: 10.13140/RG.2.2.21459.76327 (accessed: 11.11.2025).
- Identification and treatment of outliers. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200146680> (accessed: 02.04.2025) (in Russian).
- Dyakonov A.G. 2014. Methods for solving classification problems with categorical features. *Prikladnaya matematika i informatika: trudy fakul'teta VMK MGU imeni M.V. Lomonosova (Applied mathematics and computer science: proceedings of the Faculty of computational mathematics and cybernetics, Lomonosov Moscow State University)*. Vol. 46. Moscow: MAX Press. P. 103–127. EDN: XHMFSJ (in Russian).
- МУ 2.6.1.037-2015. Determination of average annual EEVA values of radon isotopes in indoor air based on the results of measurements of different durations. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293746/4293746323.htm> (accessed: 13.05.2024) (in Russian).
- Radon: history, properties, meaning. URL: <https://www.irb.basnet.by/ru/radon-istoriya-svoystva-znachenie/> (accessed: 11.11.2025) (in Russian).
- Starovoytov V.V., Golub Yu.I. 2021. Data normalization in machine learning. *Informatics (Informatika)*. Vol. 18. № 3. P. 83–96 (in Russian).
- Shul'gin S.G. 2018. Selecting variables for instability analysis and forecasting using gradient boosting models. Systemic monitoring of global and regional risks. *Sociopolitical and economic destabilization: analysis of country and regional situations in the world-system perspective: yearbook*. Vol. 9. Volgograd: Uchitel Publ. P. 115–153. EDN: JFUHQP (in Russian).
- Aggarwal C.C. 2017. Proximity-based outlier detection. *Outlier analysis*. Cham: Springer. P. 111–147.

REFERENCES

GOST R ISO 16269-4-2017. Statistical methods. Statistical presentation of data. Part 4.

Box G.E.P., Cox D.R. 1964. An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*. Vol. 26. № 2. P. 211–243.

Samuels J.I. 2024. One-hot encoding and two-hot encoding: an introduction. Imperial College: London, England. DOI: 10.13140/RG.2.2.21459.76327 (accessed: 11.11.2025).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Калашникова Мария Владимировна – Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения; 190000, Россия, Санкт-Петербург; ассистент кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий и промышленной безопасности; mgovor42@gmail.com. SPIN-код: 2242-4233, Author ID: 1044227.

Kalashnikova Maria Vladimirovna – Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation; 190000, Russia, Saint Petersburg; Assistant of the Metrological Support of Innovative Technologies and Industrial Safety Chair; mgovor42@gmail.com. SPIN-code: 2242-4233, Author ID: 1044227.

Статья поступила в редакцию 06.09.2025; одобрена после рецензирования 13.11.2025; статья принята к публикации 18.12.2025.

The article was submitted 06.09.2025; approved after reviewing 13.10.2025; accepted for publication 18.12.2025.

Для цитирования: Калашникова М.В. 2025. Выявление ключевых детерминант радоноопасности урбанизированных территорий. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. Вып. 74. С. 22–31. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2025-74-22-31>.

For citation: Kalashnikova M.V. 2025. Identification of key determinants of radon hazard in urbanized territories. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. Iss. 74. P. 22–31 (in Russian). <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2025-74-22-31>.

Научная статья

УДК 665.1.09

DOI: 10.17217/2079-0333-2025-74-32-43

РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ОЦЕНКА СВОЙСТВ АНТИПРИГАРНОГО ЭМУЛЬСИОННОГО ГЕЛЯ

Перетятко Н.Д., Сухов М.А., Куценкова В.С., Неповинных Н.В.

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, пр-кт им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3.

В данной работе представлен состав антипригарного эмульсионного геля на биологической основе. Основная цель исследования – разработка состава эмульсионного геля с антипригарными свойствами и оценка его свойств в части установления интенсивности окислительных процессов. Образцы эмульсионного геля подвергались прогреву при температурах 180°C, 220°C и 250°C, после чего изучались ключевые показатели окисления: перекисное число (ГОСТ Р 51487-99, электронный титратор Titrette Brand), содержание диеновых соединений в пересчете на транс-изолинолевуую кислоту и анизидиновое число (ГОСТ 31756-2012, спектрофотометр Specord 200 plus). Полученные результаты показали устойчивость геля к окислению даже при высоких температурах (250°C), а уровень вторичных продуктов окисления остался в допустимых пределах. Это подтверждает безопасность материала для пищевых производств и его потенциал в качестве альтернативы традиционным покрытиям.

Ключевые слова: анизидиновое число, антипригарные средства, безопасность пищевых продуктов, окислительные процессы, перекисное число, пищевая промышленность, хлебопекарное производство, эмульсии, эмульсионный гель.

Original article

COMPOSITION DEVELOPMENT AND NON-STICK EMULSION GEL PROPERTIES EVALUATION

Peretyatko N.D., Sukhov M.A., Kutsenkova V.S., Nepovinnikh N.V.

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Peter Stolypin Ave. 4, bldg 3.

This paper presents the composition of non-stick emulsion gel on a biological base. The main aim of the study is to develop the composition of an emulsion gel with non-stick properties and to evaluate its properties in terms of determining the intensity of oxidative processes. After the emulsion gel samples were heated at temperatures of 180°C, 220°C and 250°C, the key oxidation parameters were studied: peroxide value (GOST R 51487-99, electronic titrator Titrette BRAND), the content of diene compounds in terms of trans-isolinolic acid and anisidine value (GOST 31756-2012, spectrophotometer Specord 200 plus). The given results demonstrate the gel resistance to oxidation even at high temperatures (250°C), and the level of secondary oxidation products remained within acceptable limits. This confirms the safety of the material for food production and its potential as an alternative to traditional coatings.

Key words: anisidine value, non-stick products, food safety, oxidative processes, peroxide value, food industry, bakery production, emulsions, emulsion gel.

ВВЕДЕНИЕ

В пищевой промышленности наличие адгезии в формах, противнях или листах для выпечки может снизить эффективность процесса приготовления пищи. Прилипание тестовых заготовок к кондитерским листам для выпечки или оснастки приводит к повышению количества отходов и производству некачественной продукции [Аксенова, 2009]. На рынке существуют различные варианты антиадгезионных покрытий: специальные антипригарные коврики с силиконовым или тефлоновым покрытием, бумага для выпечки и различные эмульсионные покрытия как отечественного, так и зарубежного производства. Однако зачастую их применение приводит к увеличению себестоимости готового продукта или к повышению трудозатрат. Кроме того, производство таких антипригарных средств, как правило, связано с применением сложного соединения силикона с органическими и неорганическими веществами (полисилоксана). В научной литературе утвердилось мнение, что такие силиконы характеризуются отсутствием токсического воздействия. Тем не менее современные исследования указывают на ошибочность такого обобщенного утверждения применительно ко всей группе полисилоксанов, включая полидиметилсилоксан (Е 900). Согласно современным научным данным, структура молекул и их размеры играют ключевую роль в процессах ионной миграции, проявлении токсичных свойств и способности накапливаться в тканях организма человека любого возраста. Таким образом, безопасность изделий из силикона требует особого внимания и детального изучения, особенно при нагреве до высоких температур [Pieńkowska et al., 2014; Xiang et al., 2012]. Согласно исследованиям [Верецагин, Бычин 2017],

установлено, что при прокаливании силиконовых форм до температур порядка 200°C в азотной среде наблюдается незначительное изменение массы образцов, варьирующее в пределах от 0 до 1,23%, что обусловлено выделением низкомолекулярных соединений. Последующее повторное тепловое воздействие способствует снижению концентрации десорбируемых веществ примерно наполовину, однако полного удаления указанных компонентов достичь не удастся, что потенциально способно оказать неблагоприятное влияние на состояние здоровья при контакте с такими образцами. Для минимизации риска рекомендуется предварительно подвергнуть изделия дополнительной термообработке, хотя этот дополнительный этап снижает эксплуатационные удобства продукта. Анализ химического состава экстракта, полученного кислотной обработкой исследуемых форм, посредством метода спектроскопии с индуктивно связанной плазмой выявил значительное превышение предельно допустимой концентрации алюминия – показатель оказался выше нормы в среднем в 15 раз. Данные факты подтверждают потенциальную опасность термического взаимодействия с изделиями из силикона и требуют усиленного контроля условий их эксплуатации, а также необходимости поиска безопасных альтернативных покрытий [Верецагин, Бычин, 2017; Aoki, 2016].

Водно-жировые эмульсии, применяемые в хлебопекарном производстве при обработке форм для выпечки, в своем составе в качестве жирового компонента, как правило, содержат растительное масло и пищевые растительные фосфолипиды, полученные гидратацией нерафинированного растительного масла [Семейство..., 2006; Ворошилин, Терещук, 2016]. Недостатком таких эмульсий является высокая стоимость

входящих в состав фосфолипидов и простой способ изготовления средства.

Эмульсионные гели имеют широкий спектр применения в пищевых технологиях, фармацевтике, при разработке упаковочных материалов и средств защиты [Кочеткова и др., 2019; Куценкова и др., 2023; Фролова и др., 2021]. Однако в научной литературе еще не встречались разработки по применению эмульсионных гелей в качестве антипригарных покрытий. Комбинация гидрогеля и олеогеля приводит к получению эмульсионного геля, обладающего как гидрофильными, так и липофильными свойствами [Фролова и др., 2020; Ghorghi et al., 2023; Demirkesen, Mert, 2019; Wang et al., 2022].

Растительное масло, применяемое для получения олеогеля, является одним из основных источников липидов, которые играют решающую роль в рационе человека, обеспечивая его незаменимыми жирными кислотами, жирорастворимыми витаминами и пищевыми нутриентами, укрепляющими здоровье (стерины, сквален и т. д.) [Yang et al., 2021; Zheng Liangpeng, et al., 2020; Zeng et al., 2021]. Однако липиды в пищевых маслах подвержены окислению в ходе любого процесса обработки или хранения, и окисление липидов является основной причиной прогоркания масложировых продуктов. Окисленные масла не только обладают худшими вкусовыми качествами, но и содержат токсичные ингредиенты, которые наносят вред здоровью человека. Эффективная оценка степени окисления растительных масел имеет важное значение для установления безопасности пищевых продуктов и, таким образом, вызывает все больший исследовательский интерес в последние десятилетия [Demirkesen, Mert, 2019; Саркисян и др., 2022].

Окисление липидов включает в себя набор сложных химических реакций и ме-

ханизмов. Не только поступление внешней энергии (света и тепла) может ускорить окисление пищевых масел, но и некоторые внутренние факторы, такие как состав жирных кислот, количество микроэлементов и присутствие свободных жирных кислот. В частности, окисление подразделяется на три категории: автоокисление (наиболее часто встречающееся), фотоокисление (когда масла подвергаются воздействию света) и термоокисление (когда масла подвергаются воздействию высоких температур). При термоокислении образуются различные продукты, включая альдегиды, фураны, эпоксиды, высокомолекулярные полимеры и т. д. [Арутюнян и др., 2004].

Для оценки степени окисления пищевых масел было разработано несколько подходов, которые в принципе можно разделить на два типа, а именно методы химического титрования и инструментальные методы. Методы химического титрования сосредоточены на измерении конкретных химических параметров, таких как перекисное число и анизидиновое число. Перекисное число характеризует концентрацию продуктов первичного окисления, в то время как анизидиновое число коррелирует с количеством продуктов вторичного окисления [Арутюнян и др., 2004].

Целью исследования, результаты которого представлены в данной статье, являлась разработка состава эмульсионного геля с антипригарными свойствами и оценка его свойств в части установления интенсивности окислительных процессов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования явились образцы разработанного эмульсионного геля, состоящие из олеогеля и гидрогеля в соотношении 90 : 10 соответственно и подвергнутые нагреву при различных темпе-

ратурах: контроль (не подвергался нагреву), образец 1 – эмульсионный гель, прогретый при температуре 180°C в течение 30 минут, образец 2 – эмульсионный гель, прогретый при температуре 220°C в течение 20 минут, и образец 3 – эмульсионный гель, прогретый при температуре 250°C в течение 20 минут.

Данный эмульсионный гель представляет собой бигель, который получают комбинацией геля на водной основе (гидрогель) и геля на масляной основе (олеогель). Гидрогель является 2%-ным синергетическим комплексом природных полисахаридов – альгината натрия и агар-агара. Этот комплекс показал синергетический эффект в структурировании конечного продукта (эмульсионного геля). Олеогель был получен путем диспергирования пчелиного воска в подсолнечное высокоолеиновое масло путем непрерывного перемешивания с помощью магнитной мешалки с подогревом при скорости 280 об/мин в течение 5 минут при температуре 60°C.

Жирнокислотный состав рафинированного высокоолеинового подсолнечного масла, из которого был изготовлен олеогель, представлен в таблице 1.

Эмульсионный гель гомогенизировали до получения однородной консистенции при 800 об/мин в течение 15 секунд, затем при 1 600 об/мин в течение 60 секунд. Полученный эмульсионный гель наносили на

бумагу/форму/противень и стабилизировали при комнатной температуре в течение 1-2 минут перед использованием.

Текстурные свойства образцов эмульсионного геля исследовали при температуре $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$ с помощью анализатора текстуры TA-XТ Plus (Stable Micro Systems Ltd., Великобритания). Количественными параметрами, извлеченными из кривой сила-время, были: прочность – максимальная пиковая сила в первом цикле сжатия, адгезия – пиковая отрицательная сила в первом цикле сжатия, когезия – отрицательная площадь в первом цикле, модуль упругости – отношение давления на образец к относительному изменению его линейного размера во время испытания.

Изучение показателей, характеризующих интенсивность окислительных процессов, происходящих в эмульсионном геле в процессе хранения и после термического воздействия, осуществляли в ЦКП «Исследовательский центр пищевых и химических технологий» ФГБОУ ВО «КубГТУ». Перекисное число определяли титриметрическим методом по ГОСТ Р 51487-99 на электронном титраторе Titrette Brand. Содержание соединений диеновых углеводородов в пересчете на транс-изолинолевую кислоту и анизидиновое число (ГОСТ 31756-2012) определяли на двулучевом сканирующем спектрофотометре Specord 200 Plus.

Таблица 1. Жирнокислотный состав рафинированного высокоолеинового подсолнечного масла

Table 1. Fatty acid composition of refined high oleic sunflower oil

Наименование жирной кислоты	Содержание, %
Пальмитиновая кислота C _{16:0}	6,0
Стеариновая кислота C _{18:0}	3,2
Пальмитолеиновая кислота C _{16:1}	0,1
Олеиновая кислота C _{18:1}	24,1
Линолевая кислота C _{18:2}	66,6

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При выборе оптимального соотношения олеогеля и гидрогеля в составе эмульсионного геля первоначально были приготовлены образцы, состоящие из олеогеля и гидрогеля в соотношениях 99 : 1; 95 : 5 и 90 : 10. Схема процесса получения эмульсионного геля представлена на рисунке 1.

Образец эмульсионного геля при соотношении олеогель : гидрогель как 99 : 1 имел самую высокую твердость, отрицательно влияющую на его текстуру. Высокая концентрация воска при низкой концентрации гидрогеля в составе эмульсионного геля приводила к образованию кристаллической рассыпчатой массы на стадии охлаждения,

о чем свидетельствовали такие характеристики, как адгезионная прочность, консистенция, индекс вязкости, модуль Юнга.

Образцы эмульсионного геля при соотношениях олеогель : гидрогель 95 : 5 и 90 : 10 с большей концентрацией гидрогеля обладали более мягкой текстурой, низкой прочностью и высоким наблюдаемым значением активности воды ($A_w = 0,36$), что потенциально может способствовать повышению внутренней подвижности всех молекул, присутствующих в эмульсионном геле, а также более равномерному нанесению эмульсионного антипригарного геля на поверхность для выпечки. Текстуальные характеристики испытуемых образцов представлены в таблице 2.

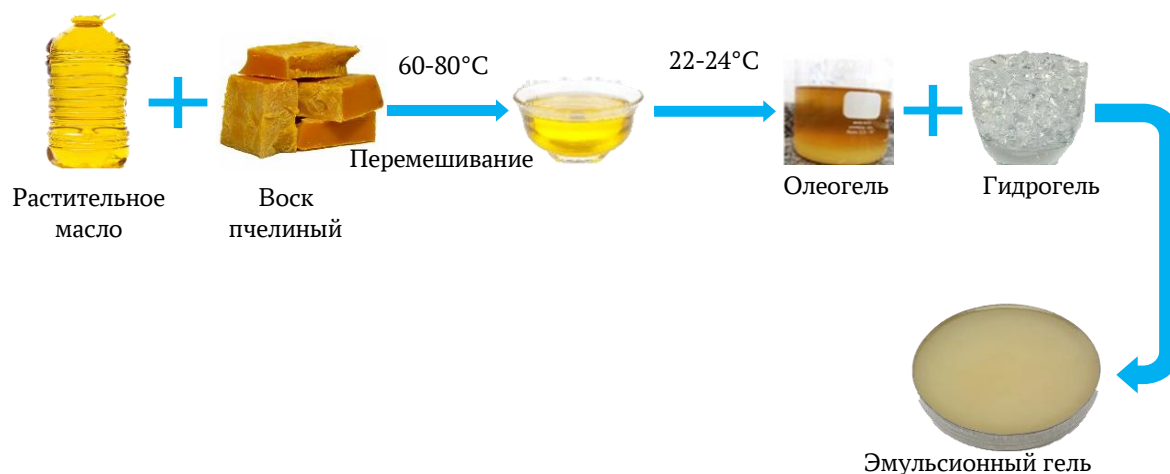


Рис. 1. Процесс получения эмульсионного геля

Fig. 1. The process of obtaining an emulsion gel

Таблица 2. Текстуальные характеристики эмульсионного геля

Table 2. Textural characteristics of emulsion gel

Наименование показателя	Значение показателя для эмульсионного геля		
	99 : 1	95 : 5	90 : 10
Прочность, г	472,076	408,222	303,188
Адгезионная прочность, г	-242,458	-187,512	-143,323
Консистенция, г * с	4428,577	3904,416	2897,065
Индекс вязкости, г * с	-1819,657	-1771,638	-1418,064
Модуль Юнга, Па	19,68	17,05	12,64

Разработанные образцы эмульсионного геля имели чистый вкус и запах, прочную однородную структуру и консистенцию, однако образец, приготовленный при соотношении олеогель : гидрогель как 99 : 1, имел неоднородную пористую структуру, а образцы, приготовленные при соотношении олеогель : гидрогель 90 : 10 и 95 : 5, характеризовались однородной гомогенной структурой.

С целью выбора определенного соотношения олеогель : гидрогель в рецептуре антипригарного эмульсионного геля была выработана опытная партия хлебобулочных изделий с применением геля в качестве антипригарного средства на противнях и листах пекарской бумаги. Результат применения разработанного эмульсионного геля оценивали по внешнему виду нижней корки хлебобулочного изделия, цвету, запаху, вкусу и послевкусию.

В результате органолептического анализа выпеченных изделий было выявлено, что у изделий, приготовленных с использованием эмульсионного геля при соотношении олеогель : гидрогель 95 : 5 было выявлено наличие посторонних привкусов, послевкусия и запаха воска. При использовании антипригарного покрытия, изготовленного с использованием эмульсионного геля при соотношении олеогель : гидрогель 90 : 10 не было выявлено каких-либо посторонних запахов, привкусов и послевкусия, поверхность нижней корки изде-

лий была идеально ровная, без пригорания и выпадений мякиша.

Исходя из результатов органолептического исследования хлебобулочных изделий, приготовленных с использованием разработанного покрытия, было выбрано рациональное соотношение олеогель : гидрогель как 90 : 10 в составе антипригарного эмульсионного геля.

Результаты определения перекисного и анизидинового чисел в образцах эмульсионного геля представлены в таблице 3.

Высокоолеиновое подсолнечное масло, являющееся основной составной частью эмульсионного геля, богато ненасыщенными жирными кислотами, склонными к окислению при хранении и термическом воздействии. Значения перекисного и анизидинового чисел всех образцов постепенно увеличивались с повышением температуры нагревания, что указывает на окисление масла в процессе термической обработки.

На рисунке 2 представлены УФ-спектры, по которым было определено содержание диеновых и триеновых соединений в образцах эмульсионных гелей.

Содержание соединений диеновых углеводов в пересчете на транс-изолинолевою кислоту и содержание соединений триеновых углеводов в пересчете на транс-изолиноленовую кислоту в образцах эмульсионного геля представлено в таблице 4.

Таблица 3. Перекисное и анизидиновое числа образцов эмульсионного геля

Table 3. Peroxide and anisidine values of emulsion gel samples

Наименование показателя	Значение показателя			
	Контроль	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Перекисное число, ммоль активного кислорода/кг	2,8 ± 1,3	17,0 ± 1,5	18,4 ± 1,2	19,8 ± 1,3
Анизидиновое число, усл. ед.	38,1 ± 2,3	128,2 ± 6,6	164,7 ± 8,4	156,6 ± 8,0

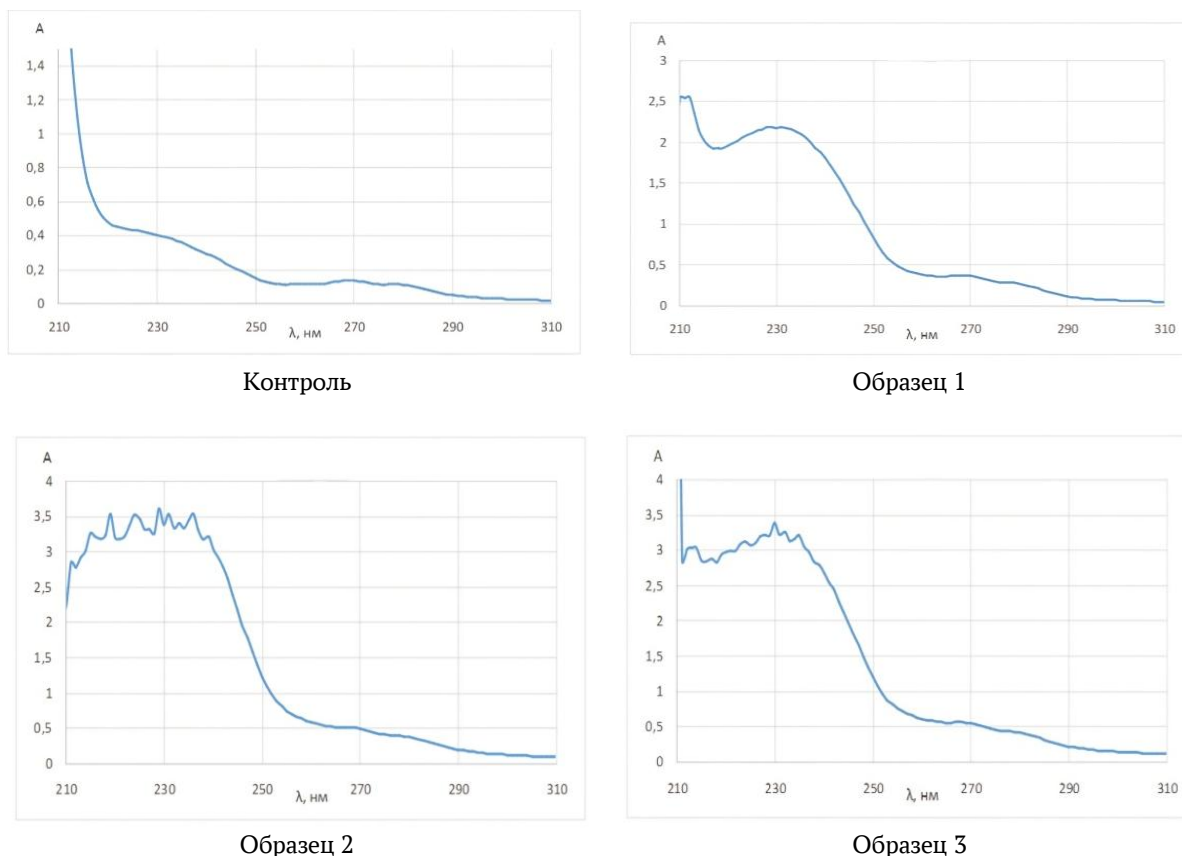


Рис. 2. Ультрафиолетовые спектры образцов эмульсионных гелей: Образец 1 – эмульсионный гель, прогретый при температуре 180°C в течение 30 минут; Образец 2 – эмульсионный гель, прогретый при температуре 220°C в течение 20 минут; Образец 3 – эмульсионный гель, прогретый при температуре 250°C в течение 20 минут

Fig. 2. Ultraviolet spectra of emulsion gel samples: Sample 1 – emulsion gel, heated at a temperature of 180°C for 30 minutes; Sample 2 – emulsion gel, heated at a temperature of 220°C for 20 minutes; Sample 3 – emulsion gel, heated at a temperature of 250°C for 20 minutes

Таблица 4. Результаты исследования содержания соединений диеновых и триеновых углеводородов в пересчете на транс-изолинолевуую кислоту

Table 4. The results of the study of the content of diene and triene hydrocarbons compounds in terms of trans-isolinolic acid

Наименование показателя	Значение показателя			
	Контроль	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Содержание соединений диеновых углеводородов в пересчете на транс-изолинолевуую кислоту, %	$0,34 \pm 1,3$	$1,83 \pm 0,5$	$2,84 \pm 0,6$	$2,85 \pm 0,7$
Содержание соединений триеновых углеводородов в пересчете на транс-изолиноленовую кислоту, %	$0,06 \pm 0,01$	$0,18 \pm 0,03$	$0,25 \pm 0,04$	$0,27 \pm 0,04$

Установлено, что при нагреве в образцах эмульсионного геля происходит накопление сопряженных диеновых и триеновых соединений, что обусловлено окислительной деградацией липидов в составе олеогеля. Высокое содержание диеновых трансизомеров, выявленное методом спектрофотометрии (Specord 200 Plus, ГОСТ 31756-2012), коррелирует с повышенной долей линолевой кислоты в исходном масле – основного субстрата для образования сопряженных диеновых структур. В то же время низкий уровень триеновых трансизомеров объясняется минимальной концентрацией линоленовой кислоты в используемом высокоолеиновом подсолнечном масле, что подтверждает зависимость окислительных процессов от исходного состава жирных кислот.

Полученные данные содержания соединений диеновых и триеновых углеводов согласуются с динамикой изменения перекисного и анизидинового чисел (см. табл. 3): при прогреве до температуры 250°C перекисное число закономерно выросло с 2,8 до 19,8 ммоль/кг. Анализ динамики изменения анизидинового числа подтвердил интенсивное образование вторичных продуктов окисления (α , β -ненасыщенных альдегидов) при термической обработке эмульсионного геля. Значения анизидинового числа прогретых образцов (128,2–164,7 усл. ед.) существенно превышали показатели контрольного образца (38,1 усл. ед.) и установленные нормы для пищевых масел 3 усл. ед. (ГОСТ 1129-2013) или >30–50 усл. ед. как признак значительного окисления, демонстрируя ожидаемое ускорение процессов окисления с ростом температуры от 180 до 220°C. Наблюдаемое снижение анизидинового числа при 250°C (156,6 усл. ед. по сравнению с 164,7 усл. ед. при 220°C) можно объяснить комплексом факторов: частичным истощением основного пред-

шественника альдегидов – линолевой кислоты (66,6% в масле), испарением летучих карбонильных соединений и их дальнейшей термической деструкцией/полимеризацией при высокой температуре. Это также может свидетельствовать о стабилизирующем эффекте используемого синергетического комплекса гидрогеля (альгинат натрия и агар-агара) и пчелиного воска в составе олеогеля, который, по-видимому, замедляет радикальные реакции даже при высоких температурах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный эмульсионный гель на основе высокоолеинового подсолнечного масла, пчелиного воска и синергетического комплекса альгината натрия и агар-агара демонстрирует выраженную термостабильность при температурах до 250°C. Комплексный анализ окислительных процессов выявил закономерный рост показателей при 220°C: перекисное число достигло 19,8 ммоль/кг (ГОСТ Р 51487-99), анизидиновое число – 164,7 усл. ед. (ГОСТ 31756-2012), при этом снижение анизидинового числа при 250°C до 156,6 усл. ед. возможно объясняется деструкцией летучих карбонильных соединений и их полимеризацией.

Важно подчеркнуть, что превышение нормативов, указанных в ГОСТ 1129-2013 для пищевых масел (анизидинового числа ≤ 3 –6 усл. ед., перекисного числа ≤ 5 –10 ммоль/кг), не является релевантным критерием, поскольку материал функционирует как технологическое покрытие (технологическое вспомогательное средство), а не как пищевой продукт. Безопасность применения обоснована соответствием принципу приемлемого риска, подтвержденным сохранением функциональности и отсутствием видимой деградации. Одна-

ко для полной верификации безопасности необходимо дальнейшее изучение миграции вторичных продуктов окисления в пищевую матрицу.

Использование биосовместимых компонентов (подсолнечное масло, пчелиный воск, полисахариды) минимизирует риски выделения токсичных соединений, характерных для силиконовых аналогов при интенсивном нагреве. Однако выявленная корреляция между содержанием линолевой кислоты в исходном масле и уровнем диеновых трансизомеров указывает на необходимость оптимизации состава олеогеля для повышения окислительной стабильности. Перспективы разработки связаны с оптимизацией состава и введением антиоксидантов, что потенциально может уменьшить уровень окисления. Устойчивость геля к высоким температурам в сочетании с использованием биосовместимых компонентов создает основу для импортозамещения традиционных покрытий в условиях санкционных ограничений. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оценку миграции альдегидов и влияния покрытия на органолептические характеристики готовой продукции.

Практическая значимость работы подтверждается соответствием эмульсионного геля требованиям безопасности технологических вспомогательных средств и его потенциалом для замены традиционных покрытий, склонных к деградации. Дальнейшие исследования целесообразно направить на оценку долговременной стабильности геля при хранении, тестирование на различных материалах (металл, керамика) и анализ влияния покрытия на органолептические показатели готового продукта. Результаты работы открывают перспективы для создания экологически безопасных решений пищевой индустрии, отвечающих современным стандартам качества.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-00108 (<https://rscf.ru/project/24-26-00108/>).

ЛИТЕРАТУРА

- Аксенова Л.М. 2009. Научное обеспечение инновационных технологий в пищевой и перерабатывающих отраслях АПК. *Никоновские чтения*. № 14. Москва: Юлис. С. 531–532.
- Арутюнян Н.С., Корнена Е.П., Мартовщук Е.В. и др. 2004. Химия жиров. *Лабораторный практикум* (2-е издание, доп. и перераб.). Санкт-Петербург: ГИОРД. 264 с.
- Верещагин А.Л., Бычин Н.В. 2017. Оценка безопасности изделий пищевого назначения из полисилоксановых полимеров. *Ползуновский вестник*. № 3. С. 137–141.
- Ворошилин Р.А., Терещук Л.В. 2016. Разработка эмульсий с антиоксидантными свойствами для смазки хлебопекарных форм. *Материалы IV Международной научной конференции «Пищевые инновации и биотехнологии»*. Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет). С. 603–604.
- Кочеткова А.А., Саркисян В.А., Коденцова В.М. и др. 2019. Пищевые олеогели: свойства и перспективы использования. *Пищевая промышленность*. № 8. С. 30–35.
- Куценкова В.С., Неповинных Н.В., Еганехзад С. 2023. Гибридный гель для замены твердых жиров в кондитерских изделиях. *Техника и технология пищевых производств*. № 1. С. 183–191.
- Саркисян В.А., Фролова Ю.В., Соболев Р.В. и др. 2022. Прогнозирование температур

- плавления восковых гелеобразователей в зависимости от их компонентного состава. *Вопросы питания*. № 2. С. 99–104.
- Семейство агентов для смазки (Русский Бейклис). 2006. *Хлебопродукты*. № 3. С. 44–45.
- Фролова Ю.В., Кочеткова А.А., Соболев Р.В. и др. 2021. Олеогели как перспективные пищевые ингредиенты липидной природы. *Вопросы питания*. № 4. С. 64–73.
- Фролова Ю.В., Соболев Р.В., Саркисян В.А. 2020. Практика применения олеогелей в технологии колбасных изделий. *Мясные технологии*. № 8. С. 44–47.
- Aoki Y. 2016. Heat-resistant, thermally conductive coating of alumina on metal via electrophoretic deposition with added polydimethylsiloxane-based organic – inorganic hybrid materials. *Polymer Bulletin*. Vol. 73. P. 2605.
- Demirkesen I., Mert B. 2019. Recent developments of oleogel utilizations in bakery products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. Vol. 60. P. 2460–2479.
- Ghorghi Z.B., Yeganehzad S., Hesarinejad M.A. 2023. Fabrication of novel hybrid gel based on beeswax oleogel: Application in the compound chocolate formulation. *Food Hydrocolloids*. Vol. 140. Article № 108599.
- Pieńkowska K., Tiwari A., Soucek M.D. 2014. Safety and toxicity aspects of polysiloxanes silicones. *Chapter in Concise Encyclopedia of High Performance Silicones*. P. 243–251.
- Wang X., Qin Y., Zhao C. 2022. High-temperature behavior of silicone rubber composite with boron oxide/calcium silicate. *E-Polymers*. Vol. 22(1). P. 595–606.
- Xiang K., Huang G., Zheng J. et al. 2012. Accelerated thermal ageing studies of polydimethylsiloxane (PDMS) rubber. *Journal of Polymer Research*. Vol. 19. Article № 9869.
- Yang Z.J., Kang D., Zhang D. et al. 2021. Crystal transformation of calcium silicate minerals synthesized by calcium silicate slag and silica fume with increase of C/S molar ratio. *Journal of Materials Research and Technology*. Vol. 15. P. 4185–4192.
- Zeng Liangpeng, Xinxing Lin, Ping Li et al. 2021. Recent advances of organogels: from fabrications and functions to applications. *Progress in Organic Coatings*. Vol. 159. Article № 106417.
- Zheng H., Mao L., Cui M. 2020. Development of food-grade bigels based on κ -carrageenan hydrogel and monoglyceride oleogels as carriers for β -carotene: roles of oleogel fraction. *Food Hydrocolloids*. Vol. 105. Article № 105855.

REFERENCES

- Aksenova L.M. 2009. Scientific support of innovative technologies in the food and processing industries of the agro-industrial complex. *Nikonovskie chteniya (Nikon Readings)*. № 14. Moscow: Yulis Publ. P. 531–532 (in Russian).
- Arutyunyan N.S., Kornena E.P., Martovshchuk E.V. et al. 2004. Chemistry of fats. *Laboratory workshop* (2-nd edition, expanded and revised). St. Petersburg: GIORG Publ. 264 p. (in Russian).
- Vereshchagin A.L., Bychin N.V. 2017. Safety assessment of food products made of polysiloxane polymers. *Polzunovskiy Vestnik*. № 3. P. 137–141 (in Russian).
- Voroshilin R.A., Tereshchuk L.V. 2016. Development of emulsions with antioxidant properties for the lubrication of baking molds. *Proceedings of International scientific conference “Food innovations and biotechnologies”*. Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University). P. 603–604 (in Russian).

- Kochetkova A.A., Sarkisyan V.A., Kodentsova V.M. et al. 2019. Food oleogels: properties and prospects of use. *Pishchevaya promyshlennost' (Food Industry)*. № 8. P. 30–35 (in Russian).
- Kutsenkova V.S., Nepovinnikh N.V., Yeganehzad S. 2023. Hybrid gel for replacing solid fats in confectionery products. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv (Food Processing: Techniques and Technology)*. № 1. P. 183–191 (in Russian).
- Sarkisyan V.A., Frolova Yu.V., Sobolev R.V. 2022. Prediction of melting temperatures of wax gelling agents depending on their component composition. *Voprosy pitaniya (Problems of Nutrition)*. № 2. P. 99–104 (in Russian).
- Family of agents for greasing bakery molds (Russian Beiklis). 2006. *Hleboпродукты (Bread Products)*. № 3. P. 44–45 (in Russian).
- Frolova Yu.V., Kochetkova A.A., Sobolev R.V. 2021. Oleogels as promising food ingredients of lipid nature. *Voprosy pitaniya (Nutrition Issues)*. № 4. P. 64–73 (in Russian).
- Frolova Yu.V., Sobolev R.V., Sarkisyan V.A. 2020. The practice of using oleogels in sausage technology. *Myasnye tehnologii (Meat Technology Magazine)*. № 8. P. 44–47 (in Russian).
- Aoki Y. 2016. Heat-resistant, thermally conductive coating of alumina on metal via electrophoretic deposition with added polydimethylsiloxane-based organic – inorganic hybrid materials. *Polymer Bulletin*. Vol. 73. P. 2605.
- Demirkesen I., Mert B. 2019. Recent developments of oleogel utilizations in bakery products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. Vol. 60. P. 2460–2479.
- Ghorghi Z.B., Yeganehzad S., Hesarinejad M.A. 2023. Fabrication of novel hybrid gel based on beeswax oleogel: Application in the compound chocolate formulation. *Food Hydrocolloids*. Vol. 140. Article № 108599.
- Pieńkowska K., Tiwari A., Soucek M.D. 2014. Safety and toxicity aspects of polysiloxanes silicones. *Chapter in Concise Encyclopedia of High Performance Silicones*. P. 243–251.
- Wang X., Qin Y., Zhao C. 2022. High-temperature behavior of silicone rubber composite with boron oxide/calcium silicate. *E-Polymers*. Vol. 22(1). P. 595–606.
- Xiang K., Huang G., Zheng J. et al. 2012. Accelerated thermal ageing studies of polydimethylsiloxane (PDMS) rubber. *Journal of Polymer Research*. Vol. 19 Article № 9869.
- Yang Z.J., Kang D., Zhang D. et al. 2021. Crystal transformation of calcium silicate minerals synthesized by calcium silicate slag and silica fume with increase of C/S molar ratio. *Journal of Materials Research and Technology*. Vol. 15. P. 4185–4192.
- Zeng Liangpeng, Xinxing Lin, Ping Li et al. 2021. Recent advances of organogels: from fabrications and functions to applications. *Progress in Organic Coatings*. Vol. 159. Article 106417.
- Zheng H., Mao L., Cui M. 2020. Development of food-grade bigels based on κ-carrageenan hydrogel and monoglyceride oleogels as carriers for β-carotene: roles of oleogel fraction. *Food Hydrocolloids*. Vol. 105. Article № 105855.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Перетягтько Никита Дмитриевич – Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова; 410012, Россия, Саратов; аспирант; Peretnik.2002@gmail.com. SPIN-код: 5898-4421, Author ID: 1308543; ORCID ID: 0009-0007-3969-8388.

Peretyatko Nikita Dmitrievich – Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov; 410012, Russia, Saratov; Postgraduate; Peretnik.2002@gmail.com. SPIN-code: 5898-4421, Author ID: 1308543; ORCID: 0009-0007-3969-8388.

Сухов Максим Александрович – Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова; 410012, Россия, Саратов; кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Технологии продуктов питания»; maksim.suxow2012@yandex.ru. SPIN-код: 4393-4938, Author ID: 911767; ORCID: 0000-0003-4999-749X.

Sukhov Maxim Alexandrovich – Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov; 410012, Russia, Saratov; Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Food Technology Chair; maksim.suxow2012@yandex.ru. SPIN-code: 4393-4938, Author ID: 911767; ORCID: 0000-0003-4999-749X.

Куценкова Василисса Сергеевна – Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова; 410012, Россия, Саратов; кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии продуктов питания»; vasilissakutsenkova@yandex.ru. SPIN-код: 1745-7472, Author ID: 911125; ORCID: 0000-0002-2468-9725.

Kutsenkova Vasilissa Sergeevna – Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov; 410012, Russia, Saratov; Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Food Technology Chair; vasilissakutsenkova@yandex.ru. SPIN-code: 1745-7472, Author ID: 911125; ORCID: 0000-0002-2468-9725.

Неповинных Наталия Владимировна – Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова; 410012, Россия, Саратов; доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии продуктов питания»; nneovinnnykh@yandex.ru. SPIN-код: 6151-1233, Author ID: 663011; ORCID: 0000-0003-2923-9202.

Nepovinnykh Nataliia Vladimirovna – Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov; 410012, Russia, Saratov; Doctor of Technical Sciences, Professor of the Food Technology Chair; nneovinnnykh@yandex.ru. SPIN-code: 6151-1233, Author ID: 663011; ORCID: 0000-0003-2923-9202.

Статья поступила в редакцию 15.10.2025; одобрена после рецензирования 18.11.2025; статья принята к публикации 18.12.2025.

The article was submitted 15.10.2025; approved after reviewing 18.11.2025; accepted for publication 18.12.2025.

Для цитирования: Перетятко Н.Д., Сухов М.А., Куценкова В.С., Неповинных Н.В. 2025. Разработка состава и оценка свойств антипригарного эмульсионного геля. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. Вып. 74. С. 32–43. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2025-74-32-43>.

For citation: Peretyatko N.D., Sukhov M.A., Kutsenkova V.S., Nepovinnykh N.V. 2025. Composition development and non-stick emulsion gel properties evaluation. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. Iss. 74. P. 32–43 (in Russian). <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2025-74-32-43>.

Научная статья

УДК 582.272.462(265.5)

DOI: 10.17217/2079-0333-2025-74-44-72

**ЛАМИНАРИЕВЫЕ ВОДОРΟΣЛИ МОРЕЙ РОССИЙСКОГО ДАЛЬНОГО ВОСТОКА:
РЕВИЗИЯ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
(ПО ДАННЫМ ИЗ NCBI)**

Клочкова Т.А.¹, Васильев М.В.¹, Клочкова Н.Г.²

¹ Камчатский государственный технический университет, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35.

² Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Партизанская, 6.

В статье обобщены данные, полученные разными исследователями в ходе молекулярно-генетического изучения ламинариевых водорослей морей российского Дальнего Востока (РДВ) за период с 2001 по 2025 гг. Они представлены в виде таблицы, обобщающей информацию о зарегистрированных в разные годы в базе данных Национального центра биотехнологической информации (NCBI) сиквенсах дальневосточных видов, полученных одним из авторов настоящей статьи и другими исследователями. В таблице, кроме того, приводится информация о местах сбора ваучерных образцов, подвергнутых молекулярно-генетическому изучению, о регистрационных номерах их сиквенсов, цитируются публикации, в которых данные номера были приведены впервые. Всего в работе обобщены данные для 12 родов, 22 видов и ряда таксономически валидных подвидов и форм видов. Впервые приводятся регистрационные номера 48 сиквенсов и информация для 8 видов ламинариевых водорослей РДВ. В данной публикации ранее описанный вид *Laminaria gurjanovae* A. Zinova предложено считать формой вида *Saccharina latissima* (Linnaeus) Lane, Mayes, Druehl et Saunders. Основанием для этого послужили результаты проведенного нами молекулярно-генетического изучения ее образцов из типового местообитания (NCBI accession №: PQ658767, PQ658768, PX409133 (COI); PQ549675, PQ549676, PQ549677 (rRNA/ITS)), имеющих морфологию, соответствующую протологу *L. gurjanovae*.

Ключевые слова: ламинариевые водоросли, моря российского Дальнего Востока, нуклеотидные сиквенсы, COI, *rbcL*, rRNA/ITS.

Original article

**LAMINARIACEAN ALGAE FROM RUSSIAN FAR EASTERN SEAS:
REVISION OF MOLECULAR-GENETIC DATA (FROM NCBI DATABASE)**

Klochkova T.A.¹, Vasilev M.V.¹, Klochkova N.G.²

¹ Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Klyuchevskaya Str. 35.

² Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute of FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Partizanskaya Str. 6.

In this paper, we summarize molecular-genetic data on the laminariacean algae from Russian Far Eastern seas (RFE) obtained from 2001 to 2025. They are presented in the form of a table, which summarizes data on the sequences of Far Eastern species registered in different years in the database of the National Center for Biotechnology Information (NCBI), obtained by one of the authors of this paper and other researchers. We provide information on the collection site of studied voucher material, sequence registration numbers, and cite references where the numbers appeared for the first time. In total, we summarized data for 12 genera and 22 species, including their forms and subspecies (currently taxonomically accepted). Also, we provide registration numbers for 48 sequences and information for 8 species of RFE kelp algae for the first time. In this paper, the previously described species *Laminaria gurjanovae* A. Zinova is proposed to be considered as a form of *Saccharina latissima* (Linnaeus) Lane, Mayes, Druehl et Saunders. This is based on our personal results of a molecular genetic study of specimens from the type locality (NCBI accession №: PQ658767, PQ658768, PX409133 (COI); PQ549675, PQ549676, PQ549677 (rRNA/ITS)), which have a morphology consistent with the protologue of *L. gurjanovae*.

Key words: laminariacean algae, Russian Far Eastern seas, nucleotide sequences, COI, *rbcL*, rRNA/ITS.

ВВЕДЕНИЕ

Подавляющее большинство представителей порядка Laminariales Mígula, 1909 характеризуются крупными размерами и значительной массой слоевищ. В холодных и умеренных водах Мирового океана они формируют огромную фитомассу и благодаря этому играют огромную роль в формировании первичной продукции и высокого биологического разнообразия прибрежных экосистем. В большинстве приморских стран ламинариевые являются объектами промысла и культивирования [Клочкова Т. и др., 2023; Клочкова Т. и др., 2025].

Всестороннее изучение, в частности определение таксономического состава региональных флор и распространение видов этой группы, по-прежнему вызывает большой интерес альгологов. С внедрением в биологическую систематику методов молекулярной генетики началось развитие генотипической систематики порядка Laminariales. Особо в истории его изучения стоит отметить публикацию канадских ученых [Lane et al., 2006], в которой приведены результаты филогенетического анализа 21 рода и 27 видов ламинариевых тихоокеанского побережья Канады, США,

Чили, Фолклендских островов, Японии и Южной Кореи, предложен новый взгляд на объем их семейств и родов. Ламинариевые водоросли морей российского Дальнего Востока (далее – РДВ), в том числе эндемы, к этому исследованию не привлекались.

Дальнейшее развитие геносистематики ламинариевых требовало вовлечения в исследования неизученных приазиатских видов, и в первую очередь видов-эндемиков Охотского моря и Курильских островов. Так, были изучены представители родов *Pseudolessonia* (Postels et Ruprecht) Cho, N. Klochkova, Krupnova et Boo [Cho et al., 2006], *Laminaria* Lamouroux, nom. cons. [Klochkova T. et al., 2010; Клочкова Т. и др., 2022], *Agarum* Dumortier, nom. cons., *Thalassiophyllum* Postels et Ruprecht [Boo et al., 2011; Kawai et al., 2017; Klochkova T. et al., 2021], *Tauya* N. Klochkova et Krupnova [Klochkova T. et al., 2017], *Alaria* Greville, nom. cons. [Klimova et al., 2018].

В более поздних работах по таксономии и геносистематике ламинариевых водорослей РДВ на основе данных молекулярной филогенетики и результатов изучения морфогенеза была уточнена внутривидовая дифференциация некоторых родов, таких как *Agarum* [Клочкова Н. и др., 2022],

Alaria [Климова и др., 2018], *Laminaria* [Klimova et al., 2023], *Saccharina* Stackhouse, nom. rejic. [Balakirev et al., 2012] и *Hedophyllum* Setchell [Клочкова Н., Кусиди, 2022]. Опубликованные данные значительно изменили представления о видовом и родовом составе ламинариевых РДВ, их семейственном положении, внутривидовой дифференциации.

Поскольку за прошедшие 24 года сиквенсов ламинариевых водорослей РДВ в Генбанке [NCBI, 2025] становилось все больше, получались и регистрировались они по одному или несколько в разные годы, мы посчитали полезным провести их ревизию, обобщить и дополнить их новыми данными, полученными в ходе собственного молекулярно-генетического изучения образцов из разных районов РДВ. Так, в статье впервые приводятся регистрационные номера 48 сиквенсов для восьми дальневосточных видов ламинариевых водорослей, в том числе эндемиков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе, помимо собственных сборов представителей ламинариевых, для выделения ДНК и проведения ПЦР были использованы образцы, в разные годы любезно предоставленные нашими коллегами: М.Н. Белым, А.В. Климовой, А.Э. Кусиди, Н.А. Лопатиной, Е.Г. Паниной, С.М. Русяевым, В.С. Огородниковым и Л.В. Ромейко.

Для выделения ДНК и проведения ПЦР из образцов, собранных не более чем за три года до проведения анализа и хранившихся в силикагеле при температуре 4°C мы использовали стандартные наборы реактивов и незначительно изменяли методику, разработанную фирмой-производителем. Выделение ДНК из старых гербарных образцов 1984 и 1986 гг. сбора, а также из образцов, собранных более чем за

три года до проведения анализа, потребовало модификации стандартной методики [Klochkova T. et al., 2010; Клочкова Т. и др., 2018]. В случае с видом *Laminaria multiplicata* Petrov et Suchovejeva, собранным в 1974 г., выделить ДНК, пригодную для ПЦР, оказалось невозможным из-за ее значительного разрушения в сохранившихся синтипах [Klochkova T. et al., 2010].

Результаты секвенирования загружались нами в GenBank в разные годы (таблица, приложение). Для того чтобы сиквенсы разных видов были сравнимы между собой, мы использовали три наиболее часто используемых для ламинариевых маркера – COI, *rbcL*, rRNA/ITS. Отметим, что полученные нами сиквенсы выравниваются в филогенетических программах таким образом, что значительная их часть (>90–95% длины) сравнима между собой и с другими сиквенсами из NCBI.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты молекулярно-генетического изучения представителей ламинариевых РДВ, выполненные за период с 2001 по 2025 гг., представлены в таблице и приложении. Анализ приведенных данных показывает, что к настоящему времени в NCBI зарегистрированы данные для 12 родов и 22 видов ламинариевых РДВ (включая таксономически валидные их подвиды и формы), в их числе охотоморские и курильские эндемы *Alaria paradisea* (Miyabe et Nagai) Widdowson, *Arthrothamnus kurilensis* Ruprecht, *Costulariella kurilensis* (Petrov et Gusarova) N. Klochkova et T. Klochkova [Петров, Гусарова, 1970], *Cymathaere fibrosa* Nagai, *Laminaria appressirhiza* Petrov et Vozzhinskaya, *Laminaria inclinatorhiza* Petrov et Vozzhinskaya, *Tauya basicrassa* N. Klochkova et Krupnova, *Saccharina gurjanovae* f. *gurjanovae* (A. Zinova) Selivanova,

Zhigadlova et Hansen. Среди дальневосточных видов ламинариевых все еще не изученными в молекулярно-генетическом отношении, а значит с неподтвержденным таксономическим статусом до сих пор остаются представители монотипных родов *Phyllariella ochotensis* Petrov et Vozzhinskaya [Климова и др., 2021], *Undariella* Petrov et Kusakin и *Feditia* Petrov et Gusarova.

Как мы обсуждали ранее, в случае с видом *S. gurjanovae* f. *lanciformis*, анализ сиквенсов показал, что выделенная Ю.Е. Петровым [1972] *Laminaria gurjanovae* f. *lanciformis* на самом деле принадлежат широко распространенному аркто-тихоокеанско-атлантическому виду *Saccharina latissima* (Linnaeus) Lane, Mayes, Druehl et Saunders [Клочкова Т. и др., 2022].

Молекулярно-генетическое изучение образцов *Laminaria gurjanovae* A. Zinova (*S. gurjanovae* f. *gurjanovae*) из ее типового местообитания, имеющих морфологию, соответствующую протологу ее типовой формы (NCBI accession №: PQ658767, PQ658768, PX409133 (COI); PQ549675, PQ549676, PQ549677 (rRNA/ITS)), показало, что они, как и представители другой ее распространенной на РДВ формы, f. *lanciformis* [Клочкова Т. и др. 2022], принадлежат к *S. latissima*. Существенные отличия внешнего облика f. *gurjanovae* от f. *lanciformis* и приуроченность ее к особым условиям произрастания дают основание отнести ее к особой форме *S. latissima* и предложить новую номенклатурную комбинацию:

Laminaria gurjanovae f. *gurjanovae* = *Saccharina latissima* f. *gurjanovae* (A. Zinova) T. Klochkova et N. Klochkova comb. nov.

Базионим: *Laminaria gurjanovae* A. Zinova 1969: 65, рис. 1–2 [Зинова А., 1969].

Синонимы: *Laminaria multiplicata* Petrov et Suchovejeva, 1974; *Saccharina gurjanovae* (A. Zinova) Selivanova, Zhigadlova et Hansen, 2007; *Saccharina gurjanovae* f. *gurjanovae* (A. Zinova) Selivanova, Zhigadlova et Hansen, 2007.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

К настоящему времени, как это видно из таблицы и приложения, накоплен значительный объем информации, необходимой для дальнейшей разработки генотипической систематики ламинариевых морей РДВ. Несмотря на существенные изменения таксономического положения и номенклатуры видов, ревизия ламинариевых в морях РДВ не завершена, поскольку для уточнения объема некоторых таксонов и уточнения видовых ареалов требуется молекулярно-генетическое изучение материала, собранного в пределах всего этого обширного района, а также сбор охотоморских и курильских эндемиков.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование было частично выполнено при поддержке государственного задания КФ ТИГ ДВО РАН по теме «Исследование и сохранение уникального морского биоразнообразия Камчатки» (№ ЕГИСУ 124093000049-8) и также гранта РНФ по теме «Разработка технологии извлечения биостимуляторов роста растений из камчатских морских водорослей. Апробация их росто- и иммунопротекторного воздействия на выращиваемые на Камчатке тепличные культуры» (№ 25-26-20128; eLIBRARY ID: 80590890, EDN: DASANC).

Таблица. Информация по нуклеотидным сиквенсам ламинариевых водорослей морей российского Дальнего Востока, зарегистрированным в базе данных NCBI за период с 2001 по 2025 гг. (виды приводятся в алфавитном порядке)

Table. Information on nucleotide sequences of kelp algae from Russian Far Eastern seas registered in NCBI database from 2001 to 2025 (species are listed in alphabetical order)

№	Вид (указанное в Генбанке название сиквенса)	Ваучерный образец (указанный в Генбанке)	Выделение ДНК, проведение ПЦР, анализ сиквенсов	Информация о месте сбора ваучерного образца	Регистра- ционный № сиквенса в Генбанке	Сиквени- рованный фрагмент, ген	Комментарии к образцам, использованным для анализов	Правильное название вида в настоящее вре- мя (согласно послед- нему опубликованно- му источнику)	Источник, в котором регистра- ционный № сиквенса публикует- ся впервые Key reference where sequence № appeared first
№	Species (sequence name indicated in the GenBank)	Voucher specimen (indicated in the GenBank)	DNA extractor, PCR performer, sequence analyzer	Information on collection site of the voucher specimen	Sequence accession № in the GenBank	Sequenced fragment, gene	Comments on specimen/s used in analyses	Current valid name of species (as recorded in the most recently published reference)	Key reference where sequence № appeared first
1(1)	<i>Agarum clathratum</i> Dumortier, 1822	PL1526	Boo G.H.	Russia: Kuril Islands, Simushir Island	HQ871329 HQ871424 HQ871491 HQ871518	ITS2 COI cox3 <i>rbcL-rbcS</i> intergenic spacer	-	<i>Agarum clathratum</i> Dumortier, 1822	[Boo et al., 2011]
1(2)	<i>A. clathratum</i>	PL86	Boo G.H.	Russia: Sakhalin Island	HQ871333 HQ871446 HQ871515	COI cox3 <i>rbcL-rbcS</i> intergenic spacer	-	<i>A. clathratum</i>	[Boo et al., 2011]
2	<i>Agarum clathratum</i> subsp. <i>clathratum</i> Dumortier, 1822	KamGTU_0029	Klochkova T.A.	Russia: Kuril Islands, Simushir Island; depth 15 m; Aug-1984	MZ333126	rRNA/ITS	Blade with almost absent or very few small perforations; narrow central midrib; thick spherical holdfast	<i>Agarum pertusum</i> var. <i>brassiciforme</i> Postels et Ruprecht [Kloch- kova N. et al., 2022 (in Russian)]	[Kloch- kova T. et al., 2021]

Продолжение табл.

Continuation of the Table

№	Вид (указанное в Генбанке название сиквенса)	Ваучерный образец (указанный в Генбанке)	Выделение ДНК, проведение ПЦР, анализ сиквенсов	Информация о месте сбора ваучерного образца	Регистрат- ционный № сиквенса в Генбанке	Сиквени- рованный фрагмент, ген	Комментарии к образцам, использованным для анализов	Правильное название вида в настоящее вре- мя (согласно послед- нему опубликованно- му источнику)	Источник, в котором регистра- ционный № сиквенса публикует- ся впервые Key reference where sequence № appeared first
	Species name (sequence name indicated in the GenBank)	Voucher specimen (indicated in the GenBank)	DNA extractor, PCR performer, sequence analyzer	Information on collection site of the voucher specimen	Sequence accession № in the GenBank	Sequenced fragment, gene	Comments on specimen/s used in analyses	Current valid name of species (as recorded in the most recently published reference)	
3	<i>Agarum pertusum</i> (Mertens) Postels et Ruprecht, 1840	KamGTU_0036	Klochkova T.A.	Russia: Paramushir Island; Jun-1984	MZ603125	rRNA/ITS	Blade with small perforations; narrow central midrib; flattened holdfast	<i>Agarum pertusum</i> (Mertens) Postels et Ruprecht emend. N. Klochkova, Klimova, T. Klochkova [Klochkova N. et al., 2022 (in Russian)]	[Kloch- kova N. et al., 2022 (in Russian)]
4	<i>Agarum undulatum</i> N. Klochkova, Klimova, T. Klochkova et Yotsukura, 2021	KamGTU_0030	Klochkova T.A. (<i>rbcL-rbcS</i> ; rRNA/ITS) Yotsukura N. (<i>rbcL-rbcS</i> ; COI)	Russia: Middle Kuril Islands, Yankicha Island; depth 15 m; Aug-1986	MZ333127 MZ333128 MZ333129	<i>rbcL-rbcS</i> intergenic spacer rRNA/ITS COI	Undulations on the blade adjacent to each other, present on both sides of blade surface. Blade margins have large outgrowths resembling fringe	<i>Agarum undulatum</i> N. Klochkova, Klimova, T. Klochkova et Yotsukura [Klochkova T. et al., 2021]	[Kloch- kova N. et al., 2022 (in Russian)]
5	<i>Agarum turneri</i> Postels et Ruprecht, 1840	Chungnam National University	Yoon H.S.	Russia: Kamchatka; 28-Jul-1998	AF318987 AF319026	<i>rbcL</i> rRNA/ITS	Collected on July 28 1998 from the Avacha Bay in Kamchatka. Voucher specimen is demonstrated in [Boo et al., 2011] (fig. 2D)	<i>Agarum turneri</i> Postels et Ruprecht, 1840	[Yoon et al., 2001]

Продолжение табл.

Continuation of the Table

№	Вид (указанное в Генбанке название сиквенса)	Ваучерный образец (указанный в Генбанке)	Выделение ДНК, проведение ПЦР, анализ сиквенсов	Информация о месте сбора ваучерного образца	Регистра- ционный № сиквенса в Генбанке	Сиквени- рованный фрагмент, ген	Комментарии к образцам, использованным для анализов	Правильное название вида в настоящее вре- мя (согласно послед- нему опубликованно- му источнику)	Источник, в котором регистра- ционный № сиквенса публикует- ся впервые Key reference where sequence № appeared first
	Species name (sequence name indicated in the GenBank)	Voucher specimen (indicated in the GenBank)	DNA extractor, PCR performer, sequence analyzer	Information on collection site of the voucher specimen	Sequence accession № in the GenBank	Sequenced fragment, gene	Comments on specimen/s used in analyses	Current valid name of species (as recorded in the most recently published reference)	
6(1)	<i>Alaria esculenta</i> (Linnaeus) Greville, 1830	KamGTU_0028	Klochkova T.A.	Russia: Sea of Okhotsk, Tauai Bay; Jul-2008	MN816898 MN816899	COI rRNA/ITS	Historically identified and recorded in the Sea of Okhotsk as <i>Alaria ochotensis</i>	<i>Alaria esculenta</i> (Linnaeus) Greville, 1830	[Kloch- kova T. et al., 2019 (in Russian)]
6(2)	<i>A. esculenta</i>	KamGTU_0016	Klochkova T.A.	Russia: Cape Ozernij (located near Ozernaya river mouth), southwestern Kamchatka; 29-Jun-2019	MN816900 MN816901	COI rRNA/ITS	Historically identified and recorded in the Sea of Okhotsk as <i>Alaria ochotensis</i>	<i>A. esculenta</i>	[Kloch- kova T. et al., 2019 (in Russian)]
7	<i>Alaria esculenta</i> f. <i>angustifolia</i> Postels et Ruprecht, 1840	KAV_AvB01	Klochkova T.A.	Russia: Avacha Bay, Mayachny Cape; 29-Oct-2014	MG993131 MG993133 MG993136	COI <i>rbcL</i> rRNA/ITS	Forma: <i>angustifolia</i> = = with narrow sporophylls. Historically identified and recorded in the Avacha Bay (Russia, Kamchatka) as <i>Alaria angusta</i>	<i>Alaria esculenta</i> f. <i>angustifolia</i> Postels et Ruprecht [Klimova et al., 2018 (in Russian)]	[Klimova et al., 2018 (in Russian)]

Продолжение табл.

Continuation of the Table

№	Вид (указанное в Генбанке название сиквенса)	Ваучерный образец (указанный в Генбанке)	Выделение ДНК, проведение ПЦР, анализ сиквенсов	Информация о месте сбора ваучерного образца	Регистрат- ционный № сиквенса в Генбанке	Сиквени- рованный фрагмент, ген	Комментарии к образцам, использованным для анализов	Правильное название вида в настоящее вре- мя (согласно послед- нему опубликованно- му источнику)	Источник, в котором регистра- ционный № сиквенса публикует- ся впервые Key reference where sequence № appeared first
	Species name (sequence name indicated in the GenBank)	Voucher specimen (indicated in the GenBank)	DNA extractor, PCR performer, sequence analyzer	Information on collection site of the voucher specimen	Sequence accession № in the GenBank	Sequenced fragment, gene	Comments on specimen/s used in analyses	Current valid name of species (as recorded in the most recently published reference)	
8	<i>Alaria esculenta</i> f. <i>latifolia</i> Postels et Ruprecht, 1840	KAV_AvB02	Klochkova T.A.	Russia: Avacha Bay, Zavojko inlet; 29-Oct-2014	MG993132 MG993134 MG993137	COI <i>rbcL</i> rRNA/ITS	Forma: <i>latifolia</i> = with broad sporophylls. Historically identified and recorded in the Avacha Bay (Russia, Kamchatka) as <i>Alaria</i> <i>marginata</i>	<i>Alaria esculenta</i> f. <i>latifolia</i> Postels et Ruprecht [Klimova et al., 2018]	[Klimova et al., 2018 (in Russian)]
9(1)	<i>Alaria paradisaea</i> (Miyabe et Nagai) Widdowson, 1972	Alpar_Urup01	Klochkova T.A.	Russia: The Okhotsk side of Urup Island; 16-Aug-2015	MG913356 MG913352	rRNA/ITS COI	Mature sporophyte; having additional sporophylls with a central midrib (β-sporophylls) in addition to normal sporophylls without central midrib	<i>Alaria paradisaea</i> (Miyabe et Nagai) Widdowson, 1972	[Klimova et al., 2018]

Продолжение табл.

Continuation of the Table

№	Вид (указанное в ГенБанке название сиквенса)	Ваучерный образец (указанный в ГенБанке)	Выделение ДНК, проведение ПЦР, анализ сиквенсов	Информация о месте сбора ваучерного образца	Регистра- ционный № сиквенса в ГенБанке	Сиквени- рованный фрагмент, ген	Комментарии к образцам, использованным для анализов	Правильное название вида в настоящее вре- мя (согласно послед- нему опубликованно- му источнику)	Источник, в котором регистра- ционный № сиквенса публикует- ся впервые Key reference where sequence № appeared first
	Species name (sequence name indicated in the GenBank)	Voucher specimen (indicated in the GenBank)	DNA extractor, PCR performer, sequence analyzer	Information on collection site of the voucher specimen	Sequence accession № in the GenBank	Sequenced fragment, gene	Comments on specimen/s used in analyses	Current valid name of species (as recorded in the most recently published reference)	
9(2)	<i>A. paradisea</i>	Alpar_Urup02	Klochkova T.A.	Russia: The Okhotsk side of Urup Island; 16-Aug-2015	MG913357 MG913353	rRNA/ITS COI	Mature sporophyte; having additional sporophylls with a central midrib (β-sporophylls) in addition to normal sporophylls without central midrib.	<i>A. paradisea</i>	[Klimova et al., 2018]
9(3)	<i>A. paradisea</i>	Alpar_Urup8199	Klochkova T.A.	Russia: The Okhotsk side of Urup Island; 16-Aug-2015	MG913359 MG913355	rRNA/ITS COI	Mature sporophyte; having additional sporophylls with a central midrib (β-sporophylls) in addition to normal sporophylls without central midrib.	<i>A. paradisea</i>	[Klimova et al., 2018]

Продолжение табл.

Continuation of the Table

№	Вид (указанное в ГенБанке название сиквенса)	Ваучерный образец (указанный в ГенБанке)	Выделение ДНК, проведение ПЦР, анализ сиквенсов	Информация о месте сбора ваучерного образца	Регистра- ционный № сиквенса в ГенБанке	Сиквени- рованный фрагмент, ген	Комментарии к образцам, использованным для анализов	Правильное название вида в настоящее вре- мя (согласно послед- нему опубликованно- му источнику)	Источник, в котором регистра- ционный № сиквенса публикует- ся впервые
	Species name (sequence name indicated in the GenBank)	Voucher specimen (indicated in the GenBank)	DNA extractor, PCR performer, sequence analyzer	Information on collection site of the voucher specimen	Sequence accession № in the GenBank	Sequenced fragment, gene	Comments on specimen/s used in analyses	Current valid name of species (as recorded in the most recently published reference)	Key reference where sequence № appeared first
9(4)	<i>A. paradisea</i>	Alpar_Urup03	Klochkova T.A.	Russia: The Okhotsk side of Urup Island; 16-Aug-2015	MG913358 MG913354	rRNA/ITS COI	Mature sporophyte; having additional sporophylls with a central midrib (β-sporophylls) in addition to normal sporophylls without central midrib	<i>A. paradisea</i>	[Klimova et al., 2018]
10(1)	<i>Arthrothamnus bifidus</i> (Gmelin) J. Agardh, 1868	KamGTU_0017	Klochkova T.A.	Russia: Avacha Bay, Mayachny Cape, Kamchatka; 01-Jul-2018	MH778286 MH778279	rRNA/ITS COI	Mature sporophyte; typical morphology	<i>Arthrothamnus bifidus</i> (Gmelin) J. Agardh, 1868	This study
10(2)	<i>A. bifidus</i>	-	Sasaki H., Kawai H.	Russia: Kamchatka, Avacha Bay	AB087245	rRNA/ITS	679 nt-long sequence; contains 18 undetected nt (N)	<i>A. bifidus</i>	-
11(1)	<i>Arthrothamnus kurilensis</i> Ruprecht, 1848 (‘1849’)	KamGTU_0040	Klochkova T.A.	Russia: Okhotsk side of Urup Island; 16-Aug-2015	PQ249625 PQ230994 PQ249408	<i>rbcL</i> COI rRNA/ITS	Mature sporophyte; typical morphology. This is the type species (holotype) of the genus <i>Arthrothamnus</i>	<i>Arthrothamnus kurilensis</i> Ruprecht, 1848 (‘1849’)	This study

Продолжение табл.

Continuation of the Table

№	Вид (указанное в Генбанке название сиквенса)	Ваучерный образец (указанный в Генбанке)	Выделение ДНК, проведение ПЦР, анализ сиквенсов	Информация о месте сбора ваучерного образца	Регистра- ционный № сиквенса в Генбанке	Сиквени- рованный фрагмент, ген	Комментарии к образцам, использованным для анализов	Правильное название вида в настоящее вре- мя (согласно послед- нему опубликованно- му источнику)	Источник, в котором регистра- ционный № сиквенса публикует- ся впервые Key reference where sequence № appeared first
	Species name (sequence name indicated in the GenBank)	Voucher specimen (indicated in the GenBank)	DNA extractor, PCR performer, sequence analyzer	Information on collection site of the voucher specimen	Sequence accession № in the GenBank	Sequenced fragment, gene	Comments on specimen/s used in analyses	Current valid name of species (as recorded in the most recently published reference)	
11(2)	<i>A. kurilensis</i>	KamGTU_0041	Klochkova T.A.	Russia: Okhotsk side of Urup Island; 16-Aug-2015	PQ230995 PQ249409	COI rRNA/ITS	Mature sporophyte; typical morphology	<i>A. kurilensis</i>	This study
11(3)	<i>A. kurilensis</i>	KamGTU_0042	Klochkova T.A.	Russia: Okhotsk side of Urup Island; 16-Aug-2015	PQ230996 PQ249410	COI rRNA/ITS	Mature sporophyte; typical morphology	<i>A. kurilensis</i>	This study
12(1)	<i>Costulariella kurilensis</i> (Petrov et Gusarova) N. Klochkova et T. Klochkova, 2010	KamGTU_0055	Klochkova T.A.	Russia: Kurile Islands, Yankich Island; Jul-2006	PX409129 PQ549678	COI rRNA/ITS	Typical morphology as described by Petrov et Gusarova (1970: 87, fig. 1-2)	<i>Costulariella kurilensis</i> (Petrov et Gusarova) N. Klochkova et T. Klochkova, 2010	This study
12(2)	<i>C. kurilensis</i>	KamGTU_0056	Klochkova T.A.	Russia: Kurile Islands, Matua Island; Jul-2016	PX409130 PQ549679	COI rRNA/ITS	Typical morphology as described by Petrov et Gusarova (1970: 87, fig. 1-2)	<i>C. kurilensis</i>	This study
12(3)	<i>C. kurilensis</i>	KamGTU_0057	Klochkova T.A.	Russia: Kurile Islands, Matua Island; Jul-2016	PX409131 PQ549680	COI rRNA/ITS	Typical morphology as described by Petrov et Gusarova (1970: 87, fig. 1-2)	<i>C. kurilensis</i>	This study

Продолжение табл.

Continuation of the Table

№	Вид (указанное в Генбанке название сиквенса)	Ваучерный образец (указанный в Генбанке)	Выделение ДНК, проведение ПЦР, анализ сиквенсов	Информация о месте сбора ваучерного образца	Регистрат- ционный № сиквенса в Генбанке	Сиквени- рованный фрагмент, ген	Комментарии к образцам, использованным для анализов	Правильное название вида в настоящее вре- мя (согласно послед- нему опубликованно- му источнику)	Источник, в котором регистра- ционный № сиквенса публикует- ся впервые Key reference where sequence № appeared first
	Species name (sequence name indicated in the GenBank)	Voucher specimen (indicated in the GenBank)	DNA extractor, PCR performer, sequence analyzer	Information on collection site of the voucher specimen	Sequence accession № in the GenBank	Sequenced fragment, gene	Comments on specimen/s used in analyses	Current valid name of species (as recorded in the most recently published reference)	
12(4)	<i>C. kurilensis</i>	KamGTU_0058	Klochkova T.A.	Russia: Kurile Islands, Matua Island; Jul-2016	PX409132 PQ549681	COI rRNA/ITS	Typical morphology as described by Petrov et Gusarova (1970: 87, fig. 1-2)	<i>C. kurilensis</i>	This study
13(1)	<i>Cymathaere fibrosa</i> Nagai, 1933	KamGTU_0046	Klochkova T.A.	Russia: Okhotsk side of Urup Island; 16-Aug-2015	PQ331222 PQ330238	COI rRNA/ITS	Collected from the type locality; typical morphology as described by Nagai, 1933	<i>Cymathaere fibrosa</i> Nagai, 1933	This study
13(2)	<i>C. fibrosa</i>	KamGTU_0047	Klochkova T.A.	Russia: Okhotsk side of Urup Island; 16-Aug-2015	PQ331223 PQ330239	COI rRNA/ITS	Collected from the type locality; typical morphology as described by Nagai, 1933	<i>C. fibrosa</i>	This study
13(3)	<i>C. fibrosa</i>	KamGTU_0048	Klochkova T.A.	Russia: Okhotsk side of Urup Island; 16-Aug-2015	PQ331224 PQ330240	COI rRNA/ITS	Collected from the type locality; typical morphology as described by Nagai, 1933	<i>C. fibrosa</i>	This study
13(4)	<i>C. fibrosa</i>	KamGTU_0049	Klochkova T.A.	Russia: Okhotsk side of Urup Island; 16-Aug-2015	PQ331225 PQ330241	COI rRNA/ITS	Collected from the type locality; typical morphology as described by Nagai, 1933	<i>C. fibrosa</i>	This study

Продолжение табл.

Continuation of the Table

№	Вид (указанное в Генбанке название сиквенса)	Ваучерный образец (указанный в Генбанке)	Выделение ДНК, проведение ПЦР, анализ сиквенсов	Информация о месте сбора ваучерного образца	Регистра- ционный № сиквенса в Генбанке	Сиквени- рованный фрагмент, ген	Комментарии к образцам, использованным для анализов	Правильное название вида в настоящее вре- мя (согласно послед- нему опубликованно- му источнику)	Источник, в котором регистра- ционный № сиквенса публикует- ся впервые
	Species name (sequence name indicated in the GenBank)	Voucher specimen (indicated in the GenBank)	DNA extractor, PCR performer, sequence analyzer	Information on collection site of the voucher specimen	Sequence accession № in the GenBank	Sequenced fragment, gene	Comments on specimen/s used in analyses	Current valid name of species (as recorded in the most recently published reference)	Key reference where sequence № appeared first
14(1)	<i>Cymathære triplicata</i> (Postels et Ruprecht) J. Agardh, 1868	KamGTU_0044	Klochkova T.A.	Russia: Okhotsk side of Urup Island; 16-Aug-2015	PQ249627 PQ327414	COI rRNA/ITS	Mature sporophyte; typical morphology	<i>Cymathære triplicata</i> (Postels et Ruprecht) J. Agardh, 1868	This study
14(2)	<i>C. triplicata</i>	KamGTU_0045	Klochkova T.A.	Russia: Okhotsk side of Urup Island; 16-Aug-2015	PQ249628 PQ327415	COI rRNA/ITS	Mature sporophyte; typical morphology	<i>C. triplicata</i>	This study
15	<i>Hedophyllum bongardianum</i> (Postels et Ruprecht) Yendo, 1914	KamGTU_0015	Klochkova T.A.	Russia: Cape Ozernij (located near Ozernaya river mouth), southwestern Kamchatka; 29-Jun-2018	MH778278 MH778285	COI rRNA/ITS	This sequence confirms distribution of <i>H. bongardianum</i> on southwestern Kamchatka; mature sporophyte; typical morphology	<i>Hedophyllum bongardianum</i> (Postels et Ruprecht) Yendo, 1914	[Kloch- kova N. et al., 2020 (in Russian)]
16(1)	<i>Hedophyllum dentigerum</i> (Kjellman) Starko, Lindstrom et Martone, 2019	KamGTU_0011	Klochkova T.A.	Russia: Commander Islands, Bering Island, Kitovaya bay; 20-Aug-2017	MH681767 MH681770	COI rRNA/ITS	Collected from the type locality [Kjellman, 1889]; mature sporophyte; typical morphology	<i>Hedophyllum dentigerum</i> (Kjellman) Starko, Lindstrom et Martone, 2019	This study

Продолжение табл.

Continuation of the Table

№	Вид (указанное в ГенБанке название сиквенса)	Ваучерный образец (указанный в ГенБанке)	Выделение ДНК, проведение ПЦР, анализ сиквенсов	Информация о месте сбора ваучерного образца	Регистра- ционный № сиквенса в ГенБанке	Сиквени- рованный фрагмент, ген	Комментарии к образцам, использованным для анализов	Правильное название вида в настоящее вре- мя (согласно послед- нему опубликованно- му источнику)	Источник, в котором регистра- ционный № сиквенса публикует- ся впервые Key reference where sequence № appeared first
	Species name (sequence name indicated in the GenBank)	Voucher specimen (indicated in the GenBank)	DNA extractor, PCR performer, sequence analyzer	Information on collection site of the voucher specimen	Sequence accession № in the GenBank	Sequenced fragment, gene	Comments on specimen/s used in analyses	Current valid name of species (as recorded in the most recently published reference)	
16(2)	<i>H. dentigerum</i>	KamGTU_0012	Klochkova T.A.	Russia: Commander Islands, Bering Island, Kitovaya bay; 24-Jul-2016	MH681768 MH681771	COI rRNA/ITS	Collected from the type locality [Kjellman, 1889]; mature sporophyte; typical morphology	<i>H. dentigerum</i>	This study
16(3)	<i>H. dentigerum</i>	KamGTU_0025	Klochkova T.A.	Russia: Commander Islands, Bering Island; 18-Aug-2015	MH681772	rRNA/ITS	Collected from the type locality [Kjellman, 1889]; mature sporophyte; typical morphology	<i>H. dentigerum</i>	This study
16(4)	<i>H. dentigerum</i>	KamGTU_0026	Klochkova T.A.	Russia: Commander Islands, Bering Island; 18-Aug-2015	MH681769 MH681774 MH681773	COI <i>rbcL</i> rRNA/ITS	Collected from the type locality [Kjellman, 1889]; mature sporophyte; typical morphology	<i>H. dentigerum</i>	This study
17	<i>Eualaria fistulosa</i> (Postels et Ruprecht) Wynne, 2009	KamGTU_0018	Klochkova T.A.	Russia: Avacha Bay (entrance into the bay), Kamchatka; 29-Jun-2019	MN813644 MN816897	COI rRNA/ITS	Mature sporophyte; typical morphology	<i>Eualaria fistulosa</i> (Postels et Ruprecht) Wynne, 2009	[Kloch- kova T. et al., 2019 (in Russian)]

Продолжение табл.

Continuation of the Table

№	Вид (указанное в Генбанке название сиквенса)	Ваучерный образец (указанный в Генбанке)	Выделение ДНК, проведение ПЦР, анализ сиквенсов	Информация о месте сбора ваучерного образца	Регистрат- ционный № сиквенса в Генбанке	Сиквени- рованный фрагмент, ген	Комментарии к образцам, использованным для анализов	Правильное название вида в настоящее вре- мя (согласно послед- нему опубликованно- му источнику)	Источник, в котором регистра- ционный № сиквенса публикует- ся впервые Key reference where sequence № appeared first
	Species name (sequence name indicated in the GenBank)	Voucher specimen (indicated in the GenBank)	DNA extractor, PCR performer, sequence analyzer	Information on collection site of the voucher specimen	Sequence accession № in the GenBank	Sequenced fragment, gene	Comments on specimen/s used in analyses	Current valid name of species (as recorded in the most recently published reference)	Key reference where sequence № appeared first
18(1)	<i>Laminaria appressirhiza</i> Petrov et Vozzhinskaya, 1970	CH2208	Klochkova T.A.	Russia: Taujskaya Bay, Sea of Okhotsk; 14-Jul-2008	MH778280 MH778282 MH778287	COI <i>rbcL</i> rRNA/ITS	Collected proximate to type locality; typical morphology	<i>Laminaria appressirhiza</i> Petrov et Vozzhinskaya, 1970	Morphology: [Kloch- kova T. et al., 2012] Sequences: [Kloch- kova N. et al., 2020 (in Russian)]
18(2)	<i>L. appressirhiza</i>	CH210	Klochkova T.A.	Russia: Taujskaya Bay, Sea of Okhotsk; 14-Jul-2008	MH778281 MH778283 MH778288	COI <i>rbcL</i> rRNA/ITS	Collected proximate to type locality; typical morphology	<i>L. appressirhiza</i>	Morphology: [Kloch- kova T. et al., 2012] Sequences: [Kloch- kova N. et al., 2020 (in Russian)]

Продолжение табл.

Continuation of the Table

№	Вид (указанное в Генбанке название сиквенса)	Ваучерный образец (указанный в Генбанке)	Выделение ДНК, проведение ПЦР, анализ сиквенсов	Информация о месте сбора ваучерного образца	Регистра- ционный № сиквенса в Генбанке	Сиквени- рованный фрагмент, ген	Комментарии к образцам, использованным для анализов	Правильное название вида в настоящее вре- мя (согласно послед- нему опубликованно- му источнику)	Источник, в котором регистра- ционный № сиквенса публикует- ся впервые Key reference where sequence № appeared first
	Species name (sequence name indicated in the GenBank)	Voucher specimen (indicated in the GenBank)	DNA extractor, PCR performer, sequence analyzer	Information on collection site of the voucher specimen	Sequence accession № in the GenBank	Sequenced fragment, gene	Comments on specimen/s used in analyses	Current valid name of species (as recorded in the most recently published reference)	
19(1)	<i>Laminaria inclinatorhiza</i> Petrov et Vozzhinskaya, 1970	CH2207	Klochko T.A.	Russia: Tauskaya Bay, Sea of Okhotsk; 14-Jul-2008	PQ249630 PQ249626 PQ249407	COI <i>rbcL</i> rRNA/ITS	Mature sporophyte; typical morphology	<i>Laminaria inclinatorhiza</i> Petrov et Vozzhinskaya, 1970	Morphology: [Kloch- kova T. et al., 2012] Sequences: This study
19(2)	<i>L. inclinatorhiza</i>	CH2206	Klochko T.A.	Russia: Tauskaya Bay, Sea of Okhotsk; 14-Jul-2008	PQ249629 PQ249406	COI rRNA/ITS	Mature sporophyte; deep-water population	<i>L. inclinatorhiza</i>	Morphology: Kloch- kova T. et al., 2012. Sequences: This study
20	<i>Laminaria longipes</i> Bory, 1826	KamGTU_0027	Klochko T.A.	Russia: Kurile Islands, Paramushir Island; 16-Aug-2002	MH681775 MH681777 MH681776	COI <i>rbcL</i> rRNA/ITS	Kelp species with rhizome-like holdfast; typical morphology	<i>Laminaria repens</i> Ruprecht, 1850	[Klimova et al., 2023]
21(1)	<i>Saccharina gurjanovae</i> f. <i>gurjanovae</i> (A. Zinova) Selivanova, Zhigadlova et Hansen, 2007	KamGTU_0050	Klochko T.A.	Russia: Tauskaya Bay, Sea of Okhotsk; Jul-2008	PQ658767 PQ549675	COI rRNA/ITS	Morphology of analysed specimens were as described by Zinova A.D. (1969: 65, fig. 1-2)	<i>Saccharina latissima</i> f. <i>gurjanovae</i> (A. Zinova) T. Klochkova et N. Klochk- kova comb. nov. (This study; seqs analyses)	This study

Продолжение табл.

Continuation of the Table

№	Вид (указанное в Генбанке название сиквенса)	Ваучерный образец (указанный в Генбанке)	Выделение ДНК, проведение ПЦР, анализ сиквенсов	Информация о месте сбора ваучерного образца	Регистра- ционный № сиквенса в Генбанке	Сиквени- рованный фрагмент, ген	Комментарии к образцам, использованным для анализов	Правильное название вида в настоящее вре- мя (согласно послед- нему опубликованно- му источнику)	Источник, в котором регистра- ционный № сиквенса публикует- ся впервые Key reference where sequence № appeared first
	Species name (sequence name indicated in the GenBank)	Voucher specimen (indicated in the GenBank)	DNA extractor, PCR performer, sequence analyzer	Information on collection site of the voucher specimen	Sequence accession № in the GenBank	Sequenced fragment, gene	Comments on specimen/s used in analyses	Current valid name of species (as recorded in the most recently published reference)	
21(2)	<i>S. gurjanovae</i> f. <i>gurjanovae</i>	KamGTU_0051	Klochkova T.A.	Russia: Taujskaya Bay, Sea of Okhotsk; Jul-2008	PQ658768 PQ549676	COI rRNA/ITS	Morphology of analysed specimens were as described by Zinova A.D. (1969: 65, fig. 1-2)	<i>Saccharina latissima</i> f. <i>gurjanovae</i> (A. Zinova) T. Klochkova et N. Kloch- kova comb. nov. (This study; seqs analyses)	This study
21(3)	<i>S. gurjanovae</i> f. <i>gurjanovae</i>	KamGTU_0052	Klochkova T.A.	Russia: Sakhalin, Aniva Bay; Aug-2013	PX409133 PQ549677	COI rRNA/ITS	Collected from the type locality	<i>Saccharina latissima</i> f. <i>gurjanovae</i> (A. Zinova) T. Klochkova et N. Kloch- kova comb. nov. (This study; seqs analyses)	This study
22(1)	<i>Saccharina latissima</i> (Linnaeus) Lane, Mayes, Druehl et Saunders, 2006	KamGTU_0013	Klochkova T.A.	Russia: Bechevinskaya Bay, southeastern Kamchatka; 09-Jul-2018	MH778276	COI	This species was misidentified in Kamchatka region as <i>Laminaria gurjanovae</i> f. <i>lanciformis</i> and <i>Saccharina lanciformis</i>	<i>Saccharina latissima</i> (Linnaeus) Lane, Mayes, Druehl et Saunders, 2006	[Kloch- kova T. et al., 2022 (in Russian)]

Продолжение табл.

Continuation of the Table

№	Вид (указанное в Генбанке название сиквенса)	Ваучерный образец (указанный в Генбанке)	Выделение ДНК, проведение ПЦР, анализ сиквенсов	Информация о месте сбора ваучерного образца	Регистра- ционный № сиквенса в Генбанке	Сиквени- рованный фрагмент, ген	Комментарии к образцам, использованным для анализов	Правильное название вида в настоящее вре- мя (согласно послед- нему опубликованно- му источнику)	Источник, в котором регистра- ционный № сиквенса публикует- ся впервые
№	Species name (sequence name indicated in the GenBank)	Voucher specimen (indicated in the GenBank)	DNA extractor, PCR performer, sequence analyzer	Information on collection site of the voucher specimen	Sequence accession № in the GenBank	Sequenced fragment, gene	Comments on specimen/s used in analyses	Current valid name of species (as recorded in the most recently published reference)	Key reference where sequence № appeared first
22(2)	<i>S. latissima</i>	KamGTU_0014	Klochkova T.A.	Russia: Bechevinskaya Bay, southeastern Kamchatka; 09-Jul-2018	MH778277	COI	This species was misidentified in Kamchatka region as <i>Laminaria</i> <i>gurjanovae</i> f. <i>lanciformis</i> and <i>Saccharina</i> <i>lanciformis</i>	<i>S. latissima</i>	[Kloch- kova T. et al., 2022 (in Russian)]
23(1)	<i>Taiuya basicrassa</i> N. Klochkova et Krupnova, 2004	KamGTU_0001	Klochkova T.A.	Russia: Sea of Okhotsk, Tauf Bay, Nedorazumeniya Island; Jul-2008	KY434164 KY434162 KY434160	COI <i>rbcL</i> rRNA/ITS	Normal sporophyte (3–6 m long, 1.8–2.2 m wide)	<i>Taiuya basicrassa</i> N. Klochkova et Krupnova, 2004	[Kloch- kova T. et al., 2017]
23(2)	<i>T. basicrassa</i>	KamGTU_0002	Klochkova T.A.	Russia: Sea of Okhotsk, Tauf Bay, Nedorazumeniya Island; Jul-2008	KY434165 KY434163 KY434161	COI <i>rbcL</i> rRNA/ITS	Dwarf haploid parthenosporophyte	<i>T. basicrassa</i>	[Kloch- kova T. et al., 2017]
24	<i>Pseudolessonia</i> <i>laminarioides</i> (Postels et Ruprecht) Cho, N. Klochkova, Krupnova et Boo, 2006	CNUK PL323	Cho G. Y.	Russia: Sea of Okhotsk, Babushkina near Nagaevo Bay; Sep-2000	DQ372534 DQ372550 DQ473541	psaA <i>rbcL</i> rRNA/ITS	/geo_loc_name is misspelled in the GenBank	<i>Pseudolessonia</i> <i>laminarioides</i> (Postels et Ruprecht) Cho, N. Klochkova, Krupnova et Boo, 2006	[Cho et al., 2006]

Продолжение табл.

Continuation of the Table

№	Вид (указанное в ГенБанке название сиквенса)	Ваучерный образец (указанный в ГенБанке)	Выделение ДНК, проведение ПЦР, анализ сиквенсов	Информация о месте сбора ваучерного образца	Регистра- ционный № сиквенса в ГенБанке	Сиквени- рованный фрагмент, ген	Комментарии к образцам, использованным для анализов	Правильное название вида в настоящее вре- мя (согласно послед- нему опубликованно- му источнику)	Источник, в котором регистра- ционный № сиквенса публикует- ся впервые Key reference where sequence № appeared first
25(1)	<i>Thalassiohyllum clathrus</i> (Gmelin) Postels et Ruprecht, 1840	KU-d671	Kawai H.	Russia: Avacha Bay, Kamchatka; 28-Jul-1998	LC148157 LC148175 LC148191 LC148221 LC148249 LC148277 LC075222 LC075228 LC075234 LC075240 LC075246 LC075252	cox1 cox3 nad2 nad4 nad5 nad6 atpB psaA psaB psbA psbC rbcL	-	<i>Thalassiohyllum clathrus</i> (Gmelin) Postels et Ruprecht, 1840	[Kawai et al., 2017]

Окончание табл.

The End of the Table

№	Вид (указанное в ГенБанке название сиквенса)	Ваучерный образец (указанный в ГенБанке)	Выделение ДНК, проведение ПЦР, анализ сиквенсов	Информация о месте сбора ваучерного образца	Регистра- ционный № сиквенса в ГенБанке	Сиквени- рованный фрагмент, ген	Комментарии к образцам, использованным для анализов	Правильное название вида в настоящее вре- мя (согласно послед- нему опубликованно- му источнику)	Источник, в котором регистра- ционный № сиквенса публикует- ся впервые Key reference where sequence № appeared first
25(2)	<i>T. clathrus</i>	KU-d661	Kawai H.	Russia: Avacha Bay, Kamchatka; 24-Jul-1998	LC148158 LC148176 LC148192 LC148222 LC148250 LC148278 LC148099 LC148108 LC148117 LC148126 LC148135 LC148144	cox1 cox3 nad2 nad4 nad5 nad6 atpB psaA psaB psbA psbC rbcL	-	<i>T. clathrus</i>	[Kawai et al., 2017]
25(3)	<i>T. clathrus</i>	PL103	Boo G.H.	Russia: Avacha Bay, Kamchatka	HQ871251	ITS2	-	<i>T. clathrus</i>	[Boo et al., 2011]
25(4)	<i>T. clathrus</i>	PL104	Boo G.H.	Russia: Avacha Bay, Kamchatka	HQ871331	COI	-	<i>T. clathrus</i>	[Boo et al., 2011]

Примечание.

20 – Название *Laminaria longipes* было ошибочно применено к северитихоокеанской ламинарии [Klimova et al., 2023], тип которой, как было показано, представляется собой *Saccharina latissima* и, возможно, был собран в Атлантике. Северитихоокеанская ламинария, известная под названием *Laminaria longipes*, лучше всего относится к *Laminaria repens* Ruprecht [Guiry, Guiry, 2025].

21 – На основании проведенного нами анализа последовательностей вид *Saccharina gurjanovae* f. *gurjanovae* является формой вида *Saccharina latissima*. Предложена новая номенклатурная комбинация – *Saccharina latissima* f. *gurjanovae* (A. Zinova) T. Klochkova et N. Klochkova comb. nov.

22 – На основании проведенного нами анализа последовательностей названия *Saccharina gurjanovae* f. *lanciformis* и *Saccharina lanciformis* N. Klochkova et Belyi [Klochkova N. et al., 2009: 166 (in Russian)], nom. inval. [Guiry, Guiry, 2025] следует синонимизировать с *Saccharina latissima*.

Note.

20 – The name *Laminaria longipes* was misapplied to a north Pacific kelp [Klimova et al., 2023], the type of which has been shown to represent *Saccharina latissima* and may have been collected in the Atlantic. The north Pacific kelp passing under the name *Laminaria longipes* is best referred to *Laminaria repens* Ruprecht [Guiry, Guiry, 2025].

21 – Based on our sequence analysis, species *Saccharina gurjanovae* f. *gurjanovae* represents a form of *Saccharina latissima*. A new nomenclatural combination is proposed: *Saccharina latissima* f. *gurjanovae* (A. Zinova) T. Klochkova et N. Klochkova comb. nov.

22 – Based on our sequence analyses the names *Saccharina gurjanovae* f. *lanciformis* and *Saccharina lanciformis* N. Klochkova et Belyi [Klochkova N. et al., 2009: 166 (in Russian)], nom. inval. [Guiry, Guiry, 2025] should be synonymized with *Saccharina latissima*.

ЛИТЕРАТУРА

- Зинова А.Д. 1969. Дополнение к статье о новом виде ламинарии с о. Сахалин. *Новости систематики низших растений*. Т. 6. С. 65–68.
- Климова А.В., Ключкова Т.А., Ключкова Н.Г. 2018. Внутривидовые формы *Alaria esculenta* (Laminariales, Ochrophyta) во флоре морских водорослей восточной Камчатки: первая ревизия. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. Вып. 43. С. 74–86. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2018-43-74-86>.
- Климова А.В., Ключкова Т.А., Ключкова Н.Г. 2021. Распространение редкой эндемичной водоросли *Phyllariella ochotensis* (Laminariales, Phaeophyceae) в Охотском море. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. Вып. 57. С. 82–95. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2021-57-82-95>.
- Ключкова Н.Г., Королева Т.А., Кусиди А.Э. 2009. Атлас водорослей-макрофитов прикамчатских вод: в 2-х тт. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. Т. 1. 216 с.
- Ключкова Н.Г., Климова А.В., Ключкова Т.А. 2020. Ламинариевые водоросли западной Камчатки. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. Вып. 53. С. 37–53. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2020-53-37-53>.
- Ключкова Н.Г., Климова А.В., Ключкова Т.А. 2022. Лектотипификация названий таксонов *Agarum* (Laminariales, Phaeophyceae), описанных А.Ф. Постельсом и Ф.И. Рупрехтом. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. Вып. 62. С. 36–48. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2022-62-36-48>.
- Ключкова Н.Г., Кусиди А.Э. 2022. Параллелизм формообразования у некоторых представителей рода *Hedophyllum* (Ochrophyta, Laminariales) и упразднение у *H. bongardianum* формы вида *bifurcata*. *Материалы XXIII международной научной конференции «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей»*. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. С. 157–161. <https://doi.org/10.53657/9785961004229>.
- Ключкова Т.А., Ким Г.Х., Климова А.В. и др. 2018. Таксономическая значимость фенотипических и генотипических признаков при описании новых для науки родов и видов. *Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана*. Вып. 51. С. 60–72. <https://doi.org/10.15853/2072-8212.2018.51.60-72>.
- Ключкова Т.А., Климова А.В., Ключкова Н.Г. 2019. Распространение *Alaria esculenta* (Phaeophyceae, Laminariales) в Охотском море. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. Вып. 50. С. 46–56. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2019-50-46-56>.
- Ключкова Т.А., Климова А.В., Ким Г.Х. и др. 2022. *Saccharina latissima* (Ochrophyta, Laminariales) в прикамчатских водах: экологические особенности, распространение и молекулярная филогения. *Ботанический журнал*. Т. 107. № 9. С. 906–916. <https://doi.org/10.31857/S000681362209006X>.
- Ключкова Т.А., Климова А.В., Васильев М.В. и др. 2023. Морская экология: Разработка биотехники выращивания бурых водорослей Камчатского края для санитарной марикультуры и восстановления их естественных популяций – Этап 2. *Отчет о НИР*. Федеральное агентство по рыболовству. Рег. № НИОКТР

- 122040600047-4. 85 с. eLIBRARY ID: 64908062, EDN: UNTSVI.
- Клочкова Т.А., Позолотина Л.А., Климова А.В. и др. 2025. Морская экология: Разработка биотехники выращивания бурых водорослей Камчатского края для санитарной марикультуры и восстановления их естественных популяций – Этап 3. *Отчет о НИР*. Федеральное агентство по рыболовству. Рег. № НИОКТР 225012302014-0. 74 с. eLIBRARY ID: 82665626, EDN: WXGCRB.
- Петров Ю.Е. 1972. Систематика некоторых дальневосточных видов рода *Laminaria* Lamour. *Новости систематики низших растений*. Т. 9. С. 47–58.
- Петров Ю.Е., Гусарова И.С. 1970. Новый вид и род ламинариевых водорослей с Курильских островов. *Новости систематики низших растений*. Т. 7. С. 87–90.
- Balakirev E.S., Ayala F.J., Krupnova T.N. 2012. DNA variation in the phenotypically-diverse brown alga *Saccharina japonica*. *BMC Plant Biology*. Vol. 12. P. 2–14.
- Boo G.H., Lindstrom S.C., Klochkova N.G. et al. 2011. Taxonomy and biogeography of *Agarum* and *Thalassiophyllum* (Laminariales, Phaeophyceae) based on sequences of nuclear, mitochondrial, and plastid markers. *Taxon*. Vol. 60. P. 831–840.
- Cho G.Y., Klochkova N.G., Krupnova T.N. et al. 2006. The reclassification of *Lessonia laminarioides* (Laminariaceae, Phaeophyta): *Pseudolessonia* gen. nov. *Phycology*. Vol. 42. № 6. P. 1286–1299.
- Guiry M.D., Guiry G.M. 2025. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway (<http://www.algaebase.org>. Assessed: 01.11.2025).
- Kawai H., Hanyuda T., Gao X. et al. 2017. Taxonomic revision of the Agaraceae with a description of *Neoagarum* gen. nov. and reinstatement of *Thalassiophyllum*. *Journal of Phycology*. Vol. 53. № 2. P. 261–270.
- Kjellman F.R. 1889. Om Beringhafvets algflora [About the Bering Sea algae]. *Kongliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar*. Vol. 23(8). P. 1–58, pls I–VII.
- Klimova A.V., Klochkova N.G., Klochkova T.A. et al. 2018. Morphological and molecular identification of *Alaria paradisea* (Phaeophyceae, Laminariales) from the Kurile Islands. *Algae*. Vol. 33. № 1. P. 37–48.
- Klimova A.V., Klochkova T.A., Klochkova N.G. 2023. Taxonomic revision of kelp species with rhizome-like holdfast, *Laminaria longipes* Bory and *Laminaria repens* Ruprecht, from Russian Far Eastern seas. *Botanica Pacifica*. Vol. 12. № 1. P. 151–163.
- Klochkova T.A., Kim G.H., Lee K.M. et al. 2010. Brown algae (Phaeophyceae) from Russian Far Eastern seas: Re-evaluation of *Laminaria multiplicata* Petrov et Suchovejeva. *Algae*. Vol. 25. № 2. P. 77–87.
- Klochkova T.A., Kim G.H., Belij M.N. et al. 2012. Morphology and phytogeography of *Laminaria appressirhiza* and *L. inclinatorhiza* (Phaeophyceae) from the Sea of Okhotsk. *Algae*. Vol. 27. Issue 3. P. 139–153 (<http://dx.doi.org/10.4490/algae.2012.27.3.139>).
- Klochkova T.A., Klochkova N.G., Yotsukura N. et al. 2017. Morphological, molecular, and chromosomal identification of dwarf haploid parthenosporophytes of *Tauya basicrassa* (Phaeophyceae, Laminariales) from the Sea of Okhotsk. *Algae*. Vol. 32. № 1. P. 15–28.
- Klochkova T.A., Klimova A.V., Yotsukura N. et al. 2021. A revision of the genus *Agarum* (Laminariales, Phaeophyceae) from the Far Eastern seas with a des-

- cription of *Agarum undulatum* sp. nov. from the Kuril Islands. *Russian Journal of Marine Biology*. Vol. 47. P. 364–372.
- Lane C.E., Mayes C., Druehl L.D. et al. 2006. A multi-gene molecular investigation of the kelp (Laminariales, Phaeophyceae) supports substantial taxonomic re-organization. *Journal of Phycology*. Vol. 42. P. 493–512.
- Nagai M. 1933. On a new species of *Cymathæra* from the Kurile Islands. *Proceedings of the Imperial Academy, Tokyo*. Vol. 9. Iss. 9. P. 531–534.
- National Center for Biotechnology Information (NCBI). 2025. GenBank. (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>. Assessed: 06.11.2025).
- Yoon H.S., Lee J.Y., Boo S.M. et al. 2001. Phylogeny of Alariaceae, Laminariaceae, and Lessoniaceae (Phaeophyceae) based on plastid-encoded RuBisCo spacer and nuclear-encoded ITS sequence comparisons. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. Vol. 21. Iss. 2. 231–243.
- REFERENCES**
- Zinova A.D. 1969. Addition to paper about a new species of kelp from Sakhalin Island (Additamenta ad commentationem de specie *Laminariae* novae ex insula Sachalin). *Novosti Sistematiki Nizshikh Rastenii (Novitates Systematicae Plantarum non Vascularium)*. Vol. 6. P. 65–68 (in Russian).
- Klimova A.V., Klochkova T.A., Klochkova N.G. 2018. Intraspecies forms of *Alaria esculenta* (Laminariales, Ochrophyta) in the marine flora of Eastern Kamchatka: First revision. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. Iss. 43. P. 74–86. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2018-43-74-86> (in Russian).
- Klimova A.V., Klochkova T.A., Klochkova N.G. 2021. Distribution of rare endemic alga *Phyllariella ochotensis* (Laminariales, Phaeophyceae) in the Sea of Okhotsk. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. Iss. 57. P. 82–95. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2021-57-82-95> (in Russian).
- Klochkova N.G., Korolyova T.N., Kusidi A.E. 2009. Atlas of marine algae of Kamchatka and surrounding areas. Vol. 1. KamchatNIRO Publ.: Petropavlovsk-Kamchatsky. 216 p. (in Russian).
- Klochkova N.G., Klochkova T.A., Klimova A.V. 2020. The kelp species of western Kamchatka. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. Iss. 53. P. 37–53. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2020-53-37-53> (in Russian).
- Klochkova N.G., Klimova A.V., Klochkova T.A. 2022. Lectotypification of the names of *Agarum* taxa (Laminariales, Phaeophyceae) described by A.F. Postels and F.I. Ruprecht. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. Iss. 62. P. 36–48. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2022-62-36-48> (in Russian).
- Klochkova N.G., Kusidi A.E. 2022. Parallelism of form formation in some representatives of the genus *Hedophyllum* (Ochrophyta, Laminariales) and the disclaimer of the bifurcate form in *H. bongardianum*. *Materials of XXIII international scientific conference “Conservation of biodiversity of Kamchatka and coastal waters”*. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress Publ. P. 157–161. <https://doi.org/10.53657/9785961004229> (in Russian).

- Klochkova T.A., Kim G.H., Klimova A.V. et al. 2018. Taxonomic significance of phenotypic and genotypic characters to describe new genera and species. *The researches of the Aquatic Biological Resources of Kamchatka and of the North-West Part of the Pacific Ocean*. Iss. 51. P. 60–72. <https://doi.org/10.15853/2072-8212.2018.51.60-72> (in Russian).
- Klochkova T.A., Klimova A.V., Klochkova N.G. 2019. Distribution of *Alaria esculenta* (Phaeophyceae, Laminariales) in the Sea of Okhotsk. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. Iss. 50. P. 46–56. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2019-50-46-56> (in Russian).
- Klochkova T.A., Klimova A.V., Kim G.H. et al. 2022. *Saccharina latissima* (Ochrophyta, Laminariales) from Kamchatka waters: ecology, distribution and molecular phylogeny. *Botanicheskiy Zhurnal (Botanical Journal)*. Vol. 107. № 9. P. 906–916. <https://doi.org/10.31857/S000681362209006X> (in Russian).
- Klochkova T.A., Klimova A.V., Vasiliev M.V. et al. 2023. Marine ecology: Development of biotechnology for growing brown algae of Kamchatka Krai for sanitary mariculture and restoration of their natural populations – Stage 2. *Research Report*. Federal Agency for Fisheries. Reg. № 122040600047-4. 85 p. eLIBRARY ID: 64908062, EDN: UNTSVI (in Russian).
- Klochkova T.A., Pozolotina L.A., Klimova A.V. et al. 2025. Marine ecology: Development of biotechnology for growing brown algae of Kamchatka Krai for sanitary mariculture and restoration of their natural populations – Stage 3. *Research Report*. Federal Agency for Fisheries. Reg. № 225012302014-0. 74 p. eLIBRARY ID: 82665626, EDN: WXGCRB (in Russian).
- Petrov Yu.E. 1972. Systematics of some Far Eastern species of the genus *Laminaria* Lamour (De systemate specierum nonnullarum *Laminaria* Lamour. ex oriente extremo). *Novosti sistematiki nizshikh rastenii (Novitates Systematicae Plantarum non Vascularium)*. Vol. 9. P. 47–58 (in Russian).
- Petrov Yu.E., Gusarova I.S. 1970. A new species and genus of kelp algae from the Kuril Islands (Genus novum et species nova Laminariacearum ex Insulis Kurilensibus). *Novosti sistematiki nizshikh rastenii (Novitates Systematicae Plantarum non Vascularium)*. Vol. 7. P. 87–90 (in Russian).
- Balakirev E.S., Ayala F.J., Krupnova T.N. 2012. DNA variation in the phenotypically-diverse brown alga *Saccharina japonica*. *BMC Plant Biology*. Vol. 12. P. 2–14.
- Boo G.H., Lindstrom S.C., Klochkova N.G. et al. 2011. Taxonomy and biogeography of *Agarum* and *Thalassiophyllum* (Laminariales, Phaeophyceae) based on sequences of nuclear, mitochondrial, and plastid markers. *Taxon*. Vol. 60. P. 831–840.
- Cho G.Y., Klochkova N.G., Krupnova T.N. et al. 2006. The reclassification of *Lessonia laminarioides* (Laminariaceae, Phaeophyta): *Pseudolessonia* gen. nov. *Phycology*. Vol. 42. № 6. P. 1286–1299.
- Guiry M.D., Guiry G.M. 2025. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway (<http://www.algaebase.org>. Assessed: 01.11.2025).
- Kawai H., Hanyuda T., Gao X. et al. 2017. Taxonomic revision of the Agaraceae with a description of *Neoagarum* gen. nov. and reinstatement of *Thalassiophyllum*. *Journal of Phycology*. Vol. 53. № 2. P. 261–270.

- Kjellman F.R. 1889. Om Beringhafvets algflora [About the Bering Sea algae]. *Kongliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar*. Vol. 23(8). P. 1–58, pls I–VII.
- Klimova A.V., Klochkova N.G., Klochkova T.A. et al. 2018. Morphological and molecular identification of *Alaria paradisea* (Phaeophyceae, Laminariales) from the Kurile Islands. *Algae*. Vol. 33. № 1. P. 37–48.
- Klimova A.V., Klochkova T.A., Klochkova N.G. 2023. Taxonomic revision of kelp species with rhizome-like holdfast, *Laminaria longipes* Bory and *Laminaria repens* Ruprecht, from Russian Far Eastern seas. *Botanica Pacifica*. Vol. 12. № 1. P. 151–163.
- Klochkova T.A., Kim G.H., Lee K.M. et al. 2010. Brown algae (Phaeophyceae) from Russian Far Eastern seas: Re-evaluation of *Laminaria multiplicata* Petrov et Suchovejeva. *Algae*. Vol. 25. № 2. P. 77–87.
- Klochkova T.A., Kim G.H., Belij M.N. et al. 2012. Morphology and phytogeography of *Laminaria appressirhiza* and *L. inclinorhiza* (Phaeophyceae) from the Sea of Okhotsk. *Algae*. Vol. 27. Iss. 3. P. 139–153 (<http://dx.doi.org/10.4490/algae.2012.27.3.139>).
- Klochkova T.A., Klochkova N.G., Yotsukura N. et al. 2017. Morphological, molecular, and chromosomal identification of dwarf haploid parthenosporophytes of *Tauya basicrassa* (Phaeophyceae, Laminariales) from the Sea of Okhotsk. *Algae*. Vol. 32. № 1. P. 15–28.
- Klochkova T.A., Klimova A.V., Yotsukura N. et al. 2021. A revision of the genus *Agarum* (Laminariales, Phaeophyceae) from the Far Eastern seas with a description of *Agarum undulatum* sp. nov. from the Kuril Islands. *Russian Journal of Marine Biology*. Vol. 47. P. 364–372.
- Lane C.E., Mayes C., Druehl L.D. et al. 2006. A multi-gene molecular investigation of the kelp (Laminariales, Phaeophyceae) supports substantial taxonomic re-organization. *Journal of Phycology*. Vol. 42. P. 493–512.
- Nagai M. 1933. On a new species of *Cymathaere* from the Kurile Islands. *Proceedings of the Imperial Academy, Tokyo*. Vol. 9. Iss. 9. P. 531–534.
- National Center for Biotechnology Information (NCBI). 2025. GenBank. (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>. Assessed: 06.11.2025).
- Yoon H.S., Lee J.Y., Boo S.M. et al. 2001. Phylogeny of Alariaceae, Laminariaceae, and Lessoniaceae Phaeophyceae) based on plastid-encoded RuBisCo spacer and nuclear-encoded ITS sequence comparisons. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. Vol. 21. Iss. 2. 231–243.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Клочкова Татьяна Андреевна – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; доктор биологических наук, профессор кафедры «Экология и природопользование»; tatyana_algae@mail.ru. SPIN-код: 7534-7736, Author ID: 664379; Scopus ID: 12792241800.

Klochkova Tatyana Andreevna – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Doctor of Biological Sciences, Professor of Ecology and Nature Management Chair; tatyana_algae@mail.ru. SPIN-code: 7534-7736, Author ID: 664379; Scopus ID: 12792241800.

Васильев Максим Владимирович – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; кандидат технических наук, начальник Военного учебного центра; issledovatelmv@mail.ru. SPIN-код: 8832-3966, Author ID: 721967.

Vasilev Maksim Vladimirovich – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Candidate of Technical Sciences, Head of Military Training Center; issledovatelmv@mail.ru. SPIN-code: 8832-3966, Author ID: 721967.

Клочкова Нина Григорьевна – Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН; 683000, Россия, Петропавловск-Камчатский; доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории экологии растений; ninakl@mail.ru. SPIN-код: 4701-2618, Author ID: 344281; Scopus ID: 6602583957.

Klochkova Nina Grigorievna – Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute of FEB RAS; 683000, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher of the Plant Ecology Laboratory; ninakl@mail.ru. SPIN-code: 4701-2618, Author ID: 344281; Scopus ID: 6602583957.

Статья поступила в редакцию 05.09.2025; одобрена после рецензирования 14.11.2025; статья принята к публикации: 18.12.2025.

The article was submitted 05.09.2025; approved after reviewing 14.11.2025; accepted for publication 18.12.2025.

Для цитирования: Клочкова Т.А., Васильев М.В., Клочкова Н.Г. 2025. Ламинариевые водоросли морей российского Дальнего Востока: ревизия молекулярно-генетической информации (по данным из NCBI). *Вестник Камчатского государственного технического университета*. Вып. 74. С. 44-72. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2025-74-44-72>.

For citation: Klochkova T.A., Vasilev M.V., Klochkova N.G. 2025. Laminariacean algae from Russian Far Eastern seas: revision of molecular-genetic data (from NCBI database). *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. Iss. 74. P. 44-72 (in Russian). <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2025-74-44-72>.

Приложение. COI сиквенсы видов *Costulariella kurilensis* и *Saccharina gurjanovae* f. *gurjanovae* в формате FASTA

На момент 06.11.2025 г. на сайте NCBI приводилась следующая информация: «Из-за прекращения государственного финансирования информация на этом сайте может быть устаревшей, транзакции, отправленные через сайт, могут не обрабатываться, а агентство может не иметь возможности отвечать на запросы до утверждения ассигнований. ... ».

В связи со сказанным выше, поиск в NCBI от 06.11.2025 г. не дает информации по следующим пяти зарегистрированным сиквенсам, которые прошли регистрацию и проверку на соответствие и к настоящему времени должны были находиться в открытом доступе: PX409129, PX409130, PX409131, PX409132 (*Costulariella kurilensis*; COI gene); PX409133 (*Saccharina gurjanovae* f. *gurjanovae*; COI gene).

По этой же причине данные сиквенсы не отображаются в японской базе данных ДНК (DDBJ, <https://www.ddbj.nig.ac.jp/index-e.html>), синхронизированной с базой данных NCBI с учетом всех ее обновлений. До момента выхода в открытый доступ в NCBI мы публикуем их в Приложении к данной статье в формате FASTA.

Appendix. COI sequences in FASTA format of the species *Costulariella kurilensis* and *Saccharina gurjanovae* f. *gurjanovae*

As of November 6, 2025, the NCBI website stated the following: “Because of a lapse in government funding, the information on this website may not be up to date, transactions submitted via the website may not be processed, and the agency may not be able to respond to inquiries until appropriations are enacted. ...”.

Thus, search in the NCBI performed on November 6, 2025 provided no information on the following 5 sequences registered and approved by now, which should have been publicly available: PX409129, PX409130, PX409131, and PX409132 (*Costulariella kurilensis*; COI gene); PX409133 (*Saccharina gurjanovae* f. *gurjanovae*; COI gene).

For the same reason, these sequences are not displayed in the Japanese DNA Database (DDBJ, <https://www.ddbj.nig.ac.jp/index-e.html>), which is synchronized with NCBI and takes into account all its updates. Until these sequences are released in the NCBI, we publish them in the Appendix to this paper in FASTA format.

[*Costulariella kurilensis*] KamGTU_0055; cytochrome oxidase subunit 1 gene, partial cds; mitochondrial.

ACCESSION PX409129

```
ttccaaccccaaaaaaatattgtactttatattaatttttggggggttctcaggggttcttgaacagcaatgtctgttctattcgtttacaattggct
agtcttggaatcaaatatttaggggtaatcatcagttatataacgttattgtaactgcgcgatcttcttaatgattttttatgggtatgccaaattctga
ttgggtgatttggaattggttgctttaatgattggtgctccggatatggcctccgcgatgaataatattagcttttggtattgccccatctt
taatacttctgatagccttctttagtagagtctggggcgggtactggttgacgatctaccacctcttagtggtattcaagcacattcagggcct
tcggttgatttagccatatttagtcttcatcttcaggtgctgcttatttaggggctataaattttattacaacaattttaatatgagagcacctggtat
gactatgaataggttgctctttcgtatggtctatctaattacagcgttttattactattatcacttccagtttagcgggtgctgttacaatgttattaa
cagatcgtaactttaactactttttgatcccgcggtggtggtgatccagtattatcagcattattttggttcttggggcatccaaa
```


[*Costulariella kurilensis*] KamGTU_0056; cytochrome oxidase subunit 1 gene, partial cds; mitochondrial.

ACCESSION PX409130

```
ttcaaccccaaaaaaatattggtactttatattaattttggggggtctcaggggttcttgaacagcaatgtctgttcttattcggttacaattggct
agtcctggaatcaaattttaggggtaatcatcagttatataacgttattgtaactgcgcgatgcttcttaatgattttttatgggtatgccaattctga
ttggtggatttggaattggttgtgccttaatgattggtgctccggatatggcctcccgcgatgaataatattagcttttggttattgcccccatctt
taatacttctgatagcctcttcttagtagagtctggggcgggtactggttgacgatctaccacctcttagtggtattcaagcacattcagggcct
tcggttgatttagccatatttagcttcatcttcaggtgctgcttctatttaggggctataaattttattacaacaattttaatatgagagcacctggat
gactatgaatagggtgctcttttcgatggtctatcttaattacagcgtttttattactattatcacttccagtttagcgggtgctgttacaatgttattaa
cagatcgtaacttaataactacttttttgatcccgcggtggtggtgatccagtattatcagcatttatttgggtcttggggtcatccaaa
```

[*Costulariella kurilensis*] KamGTU_0057; cytochrome oxidase subunit 1 gene, partial cds; mitochondrial.

ACCESSION PX409131

```
ttcaaccccaaaaaaatattggtactttatattaattttggggggtctcaggggttcttgaacagcaatgtctgttcttattcggttacaattggct
agtcctggaatcaaattttaggggtaatcatcagttatataacgttattgtaactgcgcgatgcttcttaatgattttttatgggtatgccaattctga
ttggtggatttggaattggttgtgccttaatgattggtgctccggatatggcctcccgcgatgaataatattagcttttggttattgcccccatctt
taatacttctgatagcctcttcttagtagagtctggggcgggtactggttgacgatctaccacctcttagtggtattcaagcacattcagggcct
tcggttgatttagccatatttagcttcatcttcaggtgctgcttctatttaggggctataaattttattacaacaattttaatatgagagcacctggat
gactatgaatagggtgctcttttcgatggtctatcttaattacagcgtttttattactattatcacttccagtttagcgggtgctgttacaatgttattaa
cagatcgtaacttaataactacttttttgatcccgcggtggtggtgatccagtattatcagcatttatttgggtcttggggtcatccaaa
```

[*Costulariella kurilensis*] KamGTU_0058; cytochrome oxidase subunit 1 gene, partial cds; mitochondrial.

ACCESSION PX409132

```
ttcaaccccaaaaaaatattggtactttatattaattttggggggtctcaggggttcttgaacagcaatgtctgttcttattcggttacaattggct
agtcctggaatcaaattttaggggtaatcatcagttatataacgttattgtaactgcgcgatgcttcttaatgattttttatgggtatgccaattctga
ttggtggatttggaattggttgtgccttaatgattggtgctccggatatggcctcccgcgatgaataatattagcttttggttattgcccccatctt
taatacttctgatagcctcttcttagtagagtctggggcgggtactggttgacgatctaccacctcttagtggtattcaagcacattcagggcct
tcggttgatttagccatatttagcttcatcttcaggtgctgcttctatttaggggctataaattttattacaacaattttaatatgagagcacctggat
gactatgaatagggtgctcttttcgatggtctatcttaattacagcgtttttattactattatcacttccagtttagcgggtgctgttacaatgttattaa
cagatcgtaacttaataactacttttttgatcccgcggtggtggtgatccagtattatcagcatttatttgggtcttggggtcatccaaa
```

[*Saccharina gurjanovae* f. *gurjanovae*] KamGTU_0052; cytochrome oxidase subunit 1 gene, partial cds; mitochondrial.

ACCESSION PX409133

```
attggtacattatattaatcttggcggttttcaggtgttcttgaacagcaatgtctgttcttattcggttacaattggctagtcctggaatcaatttt
aggaggggaatcaccagttatacaatgttattgtaaccgcgcgatgctttttaaagattttttatgggtatgccaattcttattggtgggttggaattgg
ttgtacctttaaagatcggtgctcctgataggtttccccgatgaataacattagtttttggtattacctcctctttaaattctgtcttagcgtcctc
attggtagaatctggggctgggacaggttgacgggtgacccacctcttagtggtattcaggcacactcaggaccttctgttgacttagctatatt
agtcctcatctttaggtgctgcttctatttgggagctataaattttattacaacaatctttaaattgagagcacctggatgacgatggatagggtac
ctctttttgatggtctgtcttaacacagcggttcttattactgttatcacttctgttttagcaggtggtattacaatgttattaaccgataggaatttaata
ctacttttttgatccggctggtggtggtgatcctgtttgtatcagcacttatttgggtt
```

Научная статья

УДК [582.263+582.272+582.273](265.5)"2002"

DOI: 10.17217/2079-0333-2025-74-73-85

МАКРОФИТОБЕНТОС БУХТЫ ВИЛЮЧИНСКОЙ АВАЧИНСКОГО ЗАЛИВА (СЕВЕРО-ЗАПАДНАЯ ПАЦИФИКА) ЛЕТОМ 2002 ГОДА

Архипова Е.А.^{2,1}, Коростелев С.Г.¹

¹ Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Партизанская, 6.

² Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Набережная, 18.

Представлены результаты изучения макрофитобентоса в бухте Вилючинской Авачинского залива (Северо-Западная Пацифика) в 2002 г. Выполнено 75 станций на глубинах 2,5–21,5 м. Приведен таксономический состав встреченных там зеленых, бурых и красных водорослей. Основу биомассы создавали бурые водоросли (90,0%). В литоральной и сублиторальной зонах бухты от ее входных мысов до кутовой части биомасса макрофитов уменьшалась. На слабоприбойном биономическом участке шельфа были распространены зеленые водоросли, на частично прибойном – бурые, повсеместно – красные. Также проведена оценка запасов макрофитов в бухте Вилючинской, которые в 2002 г. составили 4,2 тыс. тонн.

Ключевые слова: Авачинский залив, бухта Вилючинская, дночерпательная съемка, макрофиты, распределение, таксономическая структура.

Original article

MACROPHYTOBENTHOS OF VILYUCHINSKAYA BAY OF AVACHA GULF (NORTHWEST PACIFIC) IN SUMMER 2002

Arkhipova E.A.^{2,1}, Korostelev S.G.¹

¹ Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute of FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Partizanskaya Str. 6.

² Kamchatka Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Petropavlovsk-Kamchatsky, Naberezhnaya Str. 18.

In this paper, we present the results of macrophytobenthos investigation conducted in Vilyuchinskaya Bay of the Avacha Gulf (northwest Pacific) in 2002. We examined data collected from 75 stations at depths of 2.5–21.5 m. The taxonomic composition of green, brown, and red algae found there is presented. Brown algae constituted the bulk of the biomass (90.0%). In the tidal and subtidal zones of the bay, from its entrance capes to the apex, the macrophyte biomass has been decreasing. Green algae were common in the weakly tidal bionomic shelf zone, brown algae – in the partially tidal zone, and red algae were common throughout. We also performed an assessment of macrophyte stocks in Vilyuchinskaya Bay, and in 2002 they made 4.2 thousand tons.

Key words: Avacha Gulf, Vilyuchinskaya Bay, bottom dredge survey, macrophytes, distribution, taxonomic structure.

ВВЕДЕНИЕ

Бухта Вилучинская расположена в Авачинском заливе у юго-восточной части полуострова Камчатка. Она глубоко врезана в материк в северо-западном направлении [Гаджи и др., 1994]. Вход в бухту лежит между м. Раздельным ($52^{\circ}36,48'$ с. ш. $158^{\circ}27,27'$ в. д.) и находящимся в 2 606,8 м к востоку от него м. Зеленым ($52^{\circ}37,05'$ с. ш. $158^{\circ}29,31'$ в. д.). Юго-западный берег бухты начинается у м. Раздельного. Вдоль противоположного северо-восточного берега бухты тянется цепь гор, которые заканчиваются у берега скалистыми обрывами. С северо-запада подходит долина реки Вилучи. Площадь водного зеркала бухты составляет $14,5 \cdot 10^6$ м² [Семкин и др., 2023], протяженность береговой линии – 17,2 км [Климова и др., 2023].

В общий список водорослей-макрофитов, произрастающих у побережья Камчатки, включены 255 видов [Клочкова и др., 2002], из них в бух. Вилучинской – 98 [Писарева, Клочкова, 2008]. К камчатским промысловым и потенциально промысловым видам относятся следующие отделы водорослей: зеленые (Chlorophyta, Ulvaceae), бурые (Ochrophyta, класс Phaeophyceae) и красные (Rhodophyta) [Клочкова, Березовская, 1997]. Последние исследования, проведенные в бух. Вилучинской, позволили оценить современные ресурсы ламинариевых водорослей [Климова, Ермакова, 2013; Климова и др. 2023].

Целью настоящего исследования является анализ видового состава, показателя обилия (биомасса, г/м) и пространственного распространения зеленых, бурых и красных водорослей, а также оценка их запасов в бух. Вилучинской летом 2002 г.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материал для исследования был собран в бух. Вилучинской в июле 2002 г. с борта промыслового бота ПК-1495 РА «Пасифик Маркет». На глубинах 2,5–16 м с использованием легководолазного снаряжения и рамки площадью 0,25 м² было выполнено 55 станций; на глубинах 11–21,5 м с помощью дночерпателя «Океан-50» с площадью раскрытия 0,25 м² – 20 станций. Всего было собрано 75 проб бентоса с параллельной визуальной оценкой характера грунта.

Для оценки бионических участков литорали и сублиторали морского побережья по степени прибойности использована система, разработанная Е.Ф. Гурьяновой с соавторами [1930]. Нами выделены бионические зоны с присвоением соответствующего им номера: океаническая (I), сильноприбойная (II), частично прибойная (III), слабоприбойная (IV), защищенная от прибоя (V). Отдельно рассмотрена зона фарватера (VI), расположенная за пределами литорали (рис. 1).

В полевых условиях биомассу представителей разных отделов макрофитобентоса взвешивали на весах, этикетировали и гербаризировали. Для качественной оценки видовой принадлежности корковых водорослей, расположенных на камнях, их фиксировали путем высушивания на воздухе. Камеральную обработку собранного материала проводили в лаборатории гидробиологии КФ ТИГ ДВО РАН. Видовой состав макрофитов определяла ее ведущий научный сотрудник д.б.н. О.Н. Селиванова.

Для каждой станции биомассу макрофитов пересчитывали на 1 м². Оценка запаса (тыс. тонн) макрофитобентоса проведена по методу Е.И. Блиновой с соавторами [2005].

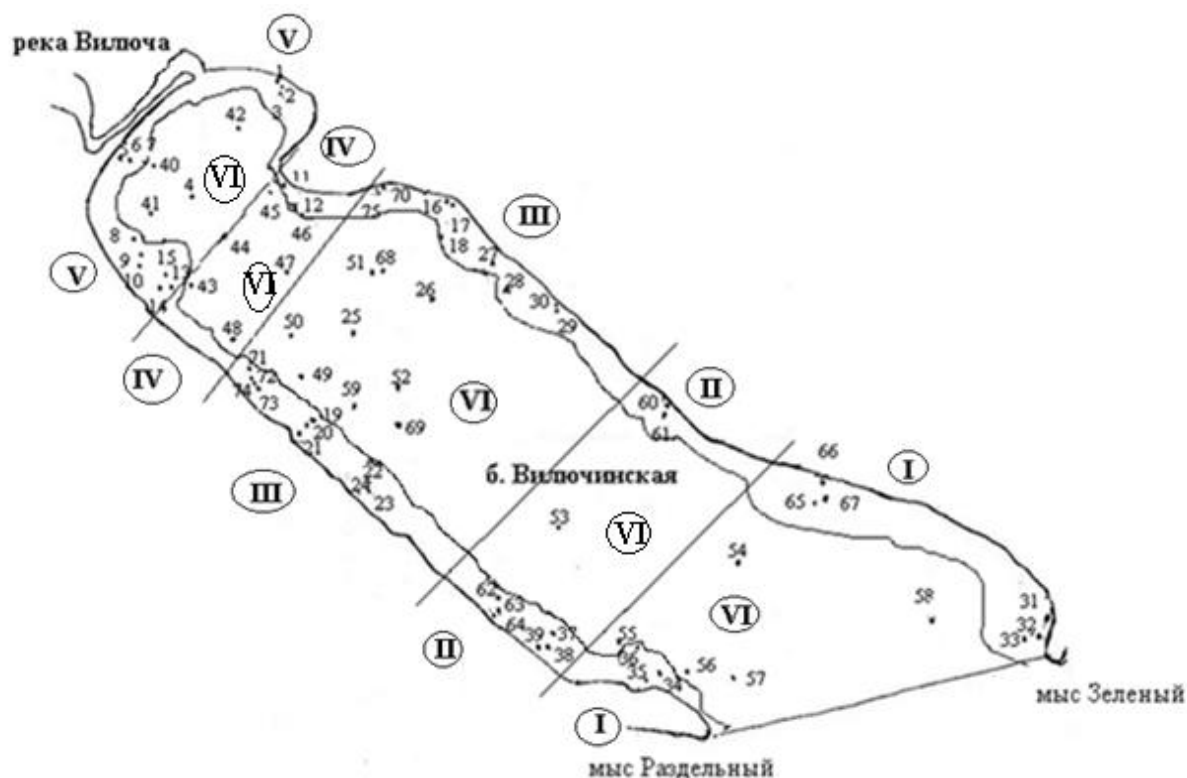


Рис. 1. Схема расположения станций (№ 1–75) на биологических участках (№ I–VI) по степени прибойности бух. Вилочинской в июле 2002 г.

Fig. 1. Scheme of station location (№ 1–75) on bionomic sites (№ I–VI) according to the degree of tide in the Vilyuchinskaya Bay in July 2002

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На биологических участках акватории грунт был распределен преимущественно следующим образом: I – каменисто-валунный; II – каменисто-валунный с примесью крупной гальки; III – каменисто-валунный с примесью гальки; IV – каменистый от мелких до крупных фракций; V – крупно-каменистый с примесью ила и песка; VI – преимущественно илистый с примесью песка и гальки (табл. 1).

Среди макрофитов было зарегистрировано 24 таксона из трех отделов и 13 семейств, от одного до восьми таксонов в зависимости от станции. Самым распространенным были представители семейства Laminariaceae. Общая биомасса водорослей изменялась от 2,88 до 13 724,00 г/м²,

средняя составила $(1\,168,12 \pm 315,23,19)$ г/м². На литорали бухты от горла до ее угловой части биомасса макрофитов уменьшалась. В ее формировании доминирующую роль занимал вид *Hedophyllum bongardianum* (45,5%) с преимущественным распределением на глубинах 5–10 м. В горле бухты на океанической и сильноприбойной литорали (рис. 1; I и II биологические участки) на твердых фракциях грунта встречены *Ptilota asplenioides*, *Odonthalia ochotensis*, *Odonthalia* sp., *Thalassiohyllum clathrus*. Самыми распространенными видами по биомассе и частоте встречаемости были бурые водоросли *H. bongardianum* и *Hedophyllum dentigerum*. Известковые водоросли отмечены на 35% станций с доминированием членистой *Corallina officinalis* и коркового *Clathromorphum circumscriptum* (табл. 2).

Таблица 1. Характеристики станций для проведения бентосной съемки в бух. Вилучинской в июле 2002 г.

Table 1. Characteristics of stations for conducting benthic survey in Vilyuchinskaya Bay in July 2002

№ станции	Биономический участок	Глубина, м	Состав грунта
1	V	5,5	Ил
2	V	3,5	Ил, песок
3	V	10,0	Ил, песок
4	V	17,0	Камни
5	V	3,0	Камни
6	V	4,5	Галька
7	V	10,0	Ил, песок
8	V	11,0	Крупные камни
9	V	5,0	Крупные камни
10	V	3,0	Крупные камни
11	IV	6,0	Крупные камни
12	IV	12,5	Крупные камни
13	V	9,5	Галька
14	V	3,5	Камни
15	V	4,5	Камни
16	III	4,0	Камни, мелкая галька
17	III	6,5	Камни, мелкая галька
18	III	9,0	Камни, галька
19	III	11,5	Камни
20	III	5,5	Камни
21	III	4,0	Валуны
22	III	9,0	Валуны, камни
23	III	7,0	Камни, галька
24	III	4,0	Валуны, галька
25	VI	9,5	Песок, камни, валуны
26	VI	9,0	Песок, камни, валуны
27	III	5,0	Валуны, камни
28	III	4,0	Валуны, камни
29	III	6,5	Валуны
30	III	4,5	Валуны
31	I	4,0	Песок, камни, валуны
32	I	5,5	Валуны, галька
33	I	10,0	Валуны, галька
34	I	10,5	Валуны, галька
35	I	4,5	Скала
36	I	2,5	Камни, галька
37	II	9,5	Камни, галька
38	II	5,5	Песок, камни
39	II	3,0	Камни, валуны
40	V	12,0	Ил, камни
41	V	14,5	Ил, камни
42	V	16,0	Ил
43	VI	13,0	Ил, камни
44	VI	19,0	Ил

Окончание таблицы 1

The End of the Table 1

№ станции	Биономический участок	Глубина, м	Состав грунта
45	VI	19,0	Ил
46	VI	18,5	Ил
47	VI	20,0	Ил
48	VI	18,0	Ил, камни
49	VI	15,0	Ил
50	VI	20,5	Ил
51	VI	19,5	Ил
52	VI	21,5	Ил
53	VI	11,0	Галька, камни
54	VI	15,5	Ил
55	VI	15,0	Галька, камни
56	VI	16,5	Галька, камни
57	VI	21,0	Галька, камни
58	VI	17,0	Галька, камни
59	VI	4,0	Камни, валуны
60	II	5,5	Камни, валуны
61	II	9,5	Камни, валуны
62	II	9,0	Крупная галька
63	II	6,5	Крупная галька
64	II	3,5	Камни, валуны
65	I	8,5	Камни, валуны
66	I	5,5	Камни, валуны
67	I	4,0	Камни, валуны
68	VI	9,5	Камни, галька
69	VI	6,0	Камни, галька
70	III	3,5	Камни, валуны
71	III	9,5	Камни, валуны
72	III	7,0	Камни, галька
73	III	3,0	Камни, галька
74	III	10,0	Камни, галька
75	III	3,0	Камни, валуны

Таблица 2. Распределение биомассы макрофитов (г/м^2) в зависимости от глубины (м) на акватории бух. Вилучинской (Северо-Западная Пацифика) в 2002 г.
 Table 2. Distribution of macrophyte biomass (g/m^2) depending on depth (m) in the water area of the Vilyuchinskaya Bay (Northwest Pacific) in 2002

Отдел/класс	Семейство	Вид	Сумма	Глубина, м				
				2-5	5-10	10-15	15-20	20-21,5
Heterokontophyta/ Phaeophyceae	Laminariaceae	<i>Hedophyllum bongardianum</i> (Postels et Ruprecht) Yendo	39 860,00	8 308,00	29 296,00	2 256,00	- *	-
		<i>Hedophyllum dentigerum</i> (Kjellman) Starck, Lindstrom et Martone	24 184,20	16 088,00	8 076,00	20,20	-	-
		<i>Saccharina latissima</i> (Linnaeus) Lane, Mayes, Druehl et Saunders	2 484,00	2 164,00	320,00	-	-	-
		<i>Saccharina gurjanovae</i> (A. Zinova) Selivanova, Zhigadlova et Hansen	2 676,80	-	2 676,80	-	-	-
	Agaraceae	<i>Agarum clathratum</i> Dumortier	64,00	-	64,00	-	-	-
		<i>Thalassiophyllum clathrus</i> (Gmelin) Postels et Ruprecht	908,00	-	908,00	-	-	-
		<i>Eularia fistulosa</i> (Postels et Ruprecht) Wynne	624,00	-	624,00	-	-	-
	Chordariaceae	<i>Dictyosiphon</i> sp.	3 720,00	944,00	2 776,00	-	-	-
	Desmarestiaceae	<i>Desmarestia viridis</i> (Müller) Lamouroux	2,68	2,68	-	-	-	-
	Bangiaceae	<i>Wildemanina miniata</i> (C. Agardh) Foslie	821,84	-	821,84	-	-	-
Rhodophyta		<i>Wildemanina</i> sp.	-	-	2,880	-	-	-
	Wrangeliaceae	<i>Phylota asplenoides</i> (Esper) C. Agardh	5 626,04	5 626,04	-	-	-	-
		<i>Phylota filicina</i> J. Agardh	468,00	456,00	12,00	-	-	-
		<i>Phylota</i> sp.	5,44	2,56	0,00	2,88	-	-
	Rhodomelaceae	<i>Odonthalia ochotensis</i> (Ruprecht) J. Agardh	1 391,76	-	1 315,68	76,08	-	-
		<i>Odonthalia kamtschatica</i> (Ruprecht) J. Agardh	64,68	54,16	10,52	-	-	-
		<i>Odonthalia</i> sp.	28,80	28,80	-	-	-	-
	Palmariaceae	<i>Halosaccion glandiforme</i> (Gmelin) Ruprecht	4 639,04	3,04	4 636,00	-	-	-
		<i>Corallina officinalis</i> Linnaeus	-	-	-	-	-	-
	Kallymeniaceae	<i>Callophyllis radula</i> Perestenko	-	-	-	-	-	-
Chlorophyta	Mesophyllumaceae	<i>Clathromorphum circumscriptum</i> (Strömfelt) Foslie	-	-	-	-	-	-
		<i>Clathromorphum nereostratum</i> Lebednik	-	-	-	-	-	-
	Hapalidiaceae	<i>Boreolithothamnion phymatodeum</i> (Foslie) Gabrielson, Maneveldt, Hughey et Pena	-	-	-	-	-	-
		<i>Ulvaceae</i> gen. sp.	40,00	-	40,00	-	-	-
	Всего			33 677,28	5 157,72	2 355,16	-	-

* макрофиты отсутствовали

* macrophytes were absent

На частично прибойной литорали (см. рис. 1; III биономический участок) видовой состав макрофитов достигал максимального значения по сравнению с другими участками и насчитывал 18 таксонов, включая известковые водоросли. По частоте встречаемости и биомассе доминировала *H. bongardianum*. По видовому разнообразию наиболее заселенным был участок шельфа, расположенный в северо-западной части акватории на валунно-каменистом грунте (ст. 22). Максимальная биомасса наблюдалась на ст. 30 северо-восточного участка шельфа на валунах и достигалась за счет доминирования бурых макрофитов *H. dentigerum*. Известковые водоросли отмечены на 37% станций с преобладанием корковых (*Clathromorphum nereostratum*).

На каменистой слабоприбойной литорали (см. рис. 1; IV биономический участок) макрофиты были зафиксированы только на ст. 11. На крупных камнях на глубине 3 м встречены *Wildemanina miniata*, *Odonthalia ochotensis*, *Ulvaceae* gen. sp., *H. bongardianum*, *Dictyosiphon* sp. По биомассе ($2\,776,00\text{ г/м}^2$) преобладал вид *Dictyosiphon* sp. (сем. Chordariaceae).

В защищенном от прибоя участке акватории (см. рис. 1; V биономический участок), расположенном в кутовой части бухты, соленость придонных слоев колебалась от 28,0 до 32,3‰ в зависимости от станции. Грунт представлен твердыми фракциями с примесью ила и песка. Видовой состав макрофитов ограничен семью видами. По биомассе лидирующее положение занимал *Dictyosiphon* sp. (97,6%).

В фарватерной зоне (рис. 2; VI биономический участок) грунт состоял из ила (42,9%), гальки/камней (23,8%), а доля остальных фракций грунта не превышала 10%. На илистом и галечно-каменистом грунте с преобладанием гальки макрофиты отсутствовали. На отдельных участках фарватер-

ной зоны на каменистых фракциях грунта как по биомассе, так и по частоте встречаемости доминировал *H. bongardianum*.

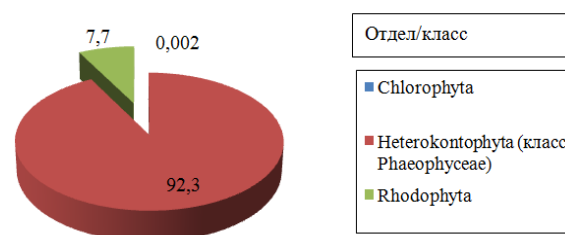


Рис. 2. Запас макрофитов (%) в бух. Вилучинской в июле 2002 г. Условные обозначения: красный цвет – бурые водоросли, зеленый цвет – красные водоросли. Зеленые водоросли – 0,002

Fig. 2. Marine seaweed stock (%) in the Vilyuchinskaya Bay as recorded in July, 2002. Legend: red – brown algae, green – red algae. Green algae – 0.002

Отдел Ochrophyta был представлен девятью видами из четырех семейств. Вклад бурых водорослей в биомассу макрофитобентоса был максимальным и достигал 90,4%. Общая биомасса составляла $79\,159,68\text{ г/м}^2$, средняя – $(1\,055,46 \pm 296,70)\text{ г/м}^2$. По биомассе лидирующее положение занимала *H. bongardianum* (45,5%). На частично прибойном биономическом участке шельфа запас бурых водорослей достигал максимального значения (табл. 3).

Отдел Rhodophyta насчитывал 14 видов из восьми семейств, включая известковые и корковые водоросли. Общая биомасса красных водорослей составляла $8\,409,60\text{ г/м}^2$, средняя – $(112,12 \pm 62,18)\text{ г/м}^2$. Вклад багрянок в видовое разнообразие альгофлоры залива составлял 65,2%. По биомассе самым массовым видом была *P. asplenoides*, по частоте встречаемости – *C. circumscriptum*. Багрянки встречены на всех биономических участках с максимальным запасом на частично прибойном участке шельфа (табл. 3).

Отдел Chlorophyta был представлен родом *Ulva*. Биомасса зеленых водорослей

составляла 0,1% от общей биомассы макрофитобентоса бухты (табл. 3). Преимущественное распределение *Ulvaceae* gen. sp. зарегистрировано на слабоприбойном бионическом участке (рис. 2; IV бионический участок шельфа) на глубине 6 м, где соленость составляла 29,2‰. Известно, что ульвовые легко переносят резкие перепады солености [Битютская и др., 2020].

Запас макрофитов в 2002 г., рассчитанный на основе их биомасс, составил 4,2 тыс. тонн. Бурые водоросли составляли в нем 92,3% от общего запаса макрофитобентоса, красные – 7,7%, зеленые – 0,002% (рис. 2).

Величина запаса ламинариевых водорослей бух. Вилучинской в размере 11,44 тыс. тонн была оценена впервые в 1967 г. [Блинова, Гусарова, 1971], а в 1988 гг. оценивалась в 6,3 тыс. тонн [Вилкова и др., 2012]. Далее методами дистанционного зондирования [Климова и др.,

2023] была рассчитана ориентировочная величина запаса ламинариевых водорослей для периода 2016–2022 гг. в размере от 3,39 до 6,01 тыс. тонн (табл. 4). Таким образом, результаты исследований, выполненных в 2002 г., соизмеримы со средним запасом макрофитов за многолетний период.

Исследования, выполненные в бухте Вилучинской в 2021–2025 гг., т. е. после вредоносного «цветения» водорослей (ВЦВ), наблюдавшегося осенью 2020 г., позволили сделать заключение, что пояс макрофитов не пострадал [Коростелев и др., 2021, 2023; Данилин и др., 2022, 2023; Санамян и др., 2023; Токранов и др., 2021, 2024; Галышева и др., 2024]. Обширное распространение ВЦВ сопровождалось массовой гибелью донных беспозвоночных, в том числе морских ежей – основных фитофагов бурых водорослей, что привело к доминированию макрофитов в бентосе бух. Вилучинской осенью 2021–2022 гг.

Таблица 3. Величина общего запаса (тыс. тонн) макрофитов на бионических участках в бух. Вилучинской (Северо-Западная Пацифика) в 2002 г.

Table 3. Value of the total stock (thousand tons) of macrophytes at bionomic sites in the Vilyuchinskaya Bay (northwestern Pacific) in 2002

Бионический участок	Условный номер	Chlorophyta	Heterokontophyta/ Phaeophyceae	Rhodophyta
		Запас, тыс. тонн		
Океанический	I	0,000000	0,000000	0,000005
Сильноприбойный	II	0,000000	0,125226	0,000257
Частично прибойный	III	0,000000	0,352844	0,029824
Слабоприбойный	IV	0,000103	0,000434	0,000137
Защищенный от прибоя	V	0,000000	0,000523	0,000001
«Фарватер»	IV	0,000000	0,003239	0,003091
Всего		0,000103	3,877065	0,325171

Таблица 4. Динамика показателей ресурсного потенциала ламинариевых водорослей бухты Вилучинской за период 2016–2022 гг. [Климова и др., 2023]

Table 4. Dynamics of indicators of the resource potential of kelp algae in Vilyuchinskaya Bay from 2016 to 2022 [Klimova et al., 2023]

Год	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Общая биомасса, тыс. тонн	3,95	1,26	4,12	5,11	6,01	5,08	3,39

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность коллегам из КамчатНИРО и КФ ТИГ ДВО РАН, принимавшим участие в сборе и обработке материалов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках хоздоговора с РА «Пасифик Маркет» в бух. Вилучинской, а также государственного задания КФ ТИГ ДВО РАН по теме «Исследование и сохранение уникального морского биоразнообразия Камчатки» (№ ЕГИСУ 124093000049-8).

ЛИТЕРАТУРА

- Блинова Е.И., Гусарова И.С. 1971. Водоросли сублиторали юго-восточного побережья Камчатки. *Известия ТИНРО*. Т. 76. С. 139–155.
- Блинова Е.И., Вилкова О.Ю., Милютин Д.М. и др. 2005. Методы ландшафтных исследований и оценки запасов донных беспозвоночных и водорослей морской прибрежной зоны. В сб. Изучение экосистем рыбохозяйственных водоемов, сбор и обработка данных о водных биологических ресурсах, техника и технология их добычи и переработки. Вып. 3. Москва: Издательство ВНИРО. 142 с.
- Битютская О.Е., Булли Л.И., Донченко Л.В. 2020. Исследование биологии и пищевой ценности *Ulva rigida* C. Ag., как перспективного объекта марикультуры. *Рыбное хозяйство*. № 4. С. 94–100.
- Вилкова О.Ю., Бадулин В.В., Муравьев В.Б. и др. 2012. Запасы ламинариевых водорослей бухт Восточной Камчатки. *Материалы конференции, посвященной 70-летию юбилею КамчатНИРО* «Состав и динамика запасов водных биологических ресурсов». Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. С. 122–128.
- Гаджи Д.С., Корчагин В.В., Кутека Т.Н. и др. 1994. Лоция Берингова моря. Ч. 1. 592 с.
- Галышева Ю.А., Чиченко В.А., Метревели В.Е. 2024. Оценка состояния макробентоса твердых грунтов верхней сублиторали некоторых районов Авачинского залива, подвергшихся влиянию вредоносного цветения водорослей осенью 2020 г., через год после природной катастрофы. *Известия ТИНРО*. Т. 202. Вып. 4. С. 917–934.
- Гурьянова Е.Ф., Закс И.И., Ушаков П.В. 1930. Литораль Кольского залива. III. Условия существования на литорали Кольского залива. *Труды Ленинградского общества естествоиспытателей*. Т. 60. № 2. С. 2–107.
- Данилин Д.Д., Жигадлова Г.Г., Коростелев С.Г. и др. 2022. Результаты изучения восстановительного потенциала прибрежных экосистем Восточной Камчатки после вредоносного цветения водорослей осенью 2020 года. *Материалы Первой всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Россия в десятилетия ООН наук об океане»*. Москва: РТУ МИРЭА. С. 225–228.
- Данилин Д.Д., Жигадлова Г.Г., Коростелев С.Г. и др. 2023. Динамика бентосных сообществ верхней сублиторали юго-восточной Камчатки после вредоносного цветения водорослей (ВЦВ) осенью 2020 г. В кн. Геосистемы Северо-Восточной Азии: природные, природно-ресурсные и социально-экономические структуры. Владивосток: Тихоокеанский институт географии ДВО РАН. С. 23–27.
- Климова А.В., Ермакова С.В. 2013. Распределение запасов ламинариевых во-

- дорослей у юго-восточной Камчатки. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. Вып. 23. С. 58–64.
- Климова А.В., Соколов М.А., Клочкова Т.А. и др. 2023. Оценка запасов ламинариевых водорослей Вилучинской бухты (юго-восточная Камчатка) методом дистанционного зондирования. *Материалы XXIV Международной научной конференции «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей»*. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. С. 95–100.
- Клочкова Н.Г., Березовская В.А. 1997. Водоросли камчатского шельфа. Распространение, биология, химический состав. Владивосток: Дальнаука. 155 с.
- Клочкова Н.Г., Березовская В.А., Ляндзберг А.Р. 2002. Анализ флоры камчатского побережья методом конкретных флор. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. Вып. 1. С. 48–58.
- Коростелев С.Г., Данилин Д.Д., Корнев С.И. 2021. О масштабах и возможных причинах выбросов морских гидробионтов в сентябре-октябре 2020 г. на побережье юга Камчатки и северных Курильских островов. *Материалы II Национальной (Всероссийской) научно-практической конференции «Моисеевские чтения» (Региональные проблемы развития Дальнего Востока России и Арктики)*. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. С. 34–39.
- Коростелев С.Г., Данилин Д.Д., Жигадлова Г.Г. и др. 2023. Сукцессия прибрежных сообществ гидробионтов, вызванная вредоносным цветением водорослей в 2020 году в тихоокеанских водах Камчатки и северных Курильских островов. *Материалы конференции «Итоги экспедиционных исследований в 2022 году в Мировом океане, внутренних водах, на архипелаге Шпицберген и полуострове Камчатка»*. Москва: РТУ МИРЭА. С. 299–304.
- Писарева Н.А., Клочкова Н.Г. 2008. Макрофитобентос бухты Вилучинской (юго-восточная Камчатка). *Вестник Камчатского государственного технического университета*. Вып. 7. С. 166–172.
- Санамян Н.П., Коробок А.В., Санамян К.Э. 2023. Качественная оценка последствий влияния вредоносного цветения водорослей осенью 2020 года у побережья Юго-Восточной Камчатки (Северо-Западная Пацифика) на мелководные бентосные сообщества. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. Вып. 63. С. 22–44.
- Семкин П.Ю., Павлова Г.Ю., Барабанщиков Ю.А. и др. 2023. Гидрохимические характеристики бухт Вилучинская и Авачинская (Восточная Камчатка) под влиянием материкового стока с вулканических территорий. *Материалы XXVI конференции, посвященной Дню вулканолога*. ИВиС ДВО РАН. С. 215–218.
- Токранов А.М., Данилин Д. Д., Жигадлова Г.Г. 2021. Оценка воздействия возникшей осенью 2020 г. у берегов Камчатки неблагоприятной экологической обстановки на представителей различных групп гидробионтов. *Труды 10-й Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2021)»*. Тверь: ПолиПРЕСС. Т. 2. С. 93–96.
- Токранов А.М., Бурдин А.М., Данилин Д.Д. и др. 2024. Состояние прибрежной биоты юго-восточной Камчатки спустя три года после вредоносного «цветения» водорослей осенью 2020 года. *Материалы конференции «Итоги экспедиционных исследований в 2023 году в Мировом океане и внутренних во-*

дах, на архипелаге Шпицберген и полуострове Камчатка». Москва: РТУ МИРЭА. С. 59–61.

REFERENCES

- Blinova E.I., Gusarova I.S. 1971. Sublittoral algae of the southeastern coast of Kamchatka. *Izvestiâ Tihookeanskogo naučno-issledovatel'skogo rybohozâjstvennogo centra (News of the Pacific Institute of Fisheries and Oceanography)*. Vol. 76. P. 139–155 (in Russian).
- Blinova E.I., Vilkova O.Yu., Milyutin D.M. et al. 2005. Methods of landscape studies and assessment of benthic invertebrate and algal stocks in the coastal marine zone. In: Study of ecosystems of fishery reservoirs, collection and processing of data on aquatic biological resources, equipment and technology for their extraction and processing. Iss. 3. Moscow: VNIRO Publ. 142 p. (in Russian).
- Bityutskaya O.E., Bulli L.I., Donchenko L.V. 2020. Study of biology and nutritional value of *Ulva rigida* C. Ag. as a promising mariculture object. *Rybnoye khozyaystvo (Fishery Journal)*. № 4. P. 94–100 (in Russian).
- Vilkova O.Yu., Badulin V.V., Muravyov V.B. et al. 2012. Kelp seaweed stocks in the bays of eastern Kamchatka. *Proceedings of the conference dedicated to the 70th anniversary of KamchatNIRO "Composition and dynamics of aquatic biological resources"*. Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO Publ. P. 122–128 (in Russian).
- Gadzhi D.S., Korchagin V.V., Kuteka T.N. et al. 1994. Sailing directions of the Bering Sea. Part 1. 592 p. (in Russian).
- Galysheva Yu.A., Chichenko V.A., Metreveli V.E. 2024. Assessment of the state for macrobenthos on solid grounds in the upper sublittoral in certain areas of Avachinsky Bay impacted by harmful algal bloom in autumn 2020, a year after the natural disaster. *Izvestiâ Tihookeanskogo naučno-issledovatel'skogo rybohozâjstvennogo centra (News of the Pacific Institute of Fisheries and Oceanography)*. Vol. 202. P. 917–934 (in Russian).
- Gurjanova E.F., Zaks I.I., Ushakov P.V. 1930. Tidal zone of Kolsky Inlet. III. Conditions of existence on the tidal zone of Kolsky Inlet. *Trudi Leningradskogo oschestva estestvoispytatelej (Proceedings of the Leningrad Society of Naturalists)*. Vol. 60. № 2. P. 2–107 (in Russian).
- Danilin D.D., Zhigadlova G.G., Korostelev S.G. et al. 2022. Results of a study of the restoration potential of coastal ecosystems in eastern Kamchatka following the harmful algal bloom in autumn 2020. *Proceedings of the First All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation "Russia in the UN decade of ocean sciences"*. Moscow: RTU MIREA Publ. P. 225–228 (in Russian).
- Danilin D.D., Zhigadlova G.G., Korostelev S.G. et al. 2023. Dynamics of benthic communities in the upper subtidal zone of southeast Kamchatka after the harmful algal bloom (HAB) in autumn 2020. In: *Geosystems of Northeast Asia: natural, natural-resource, and socio-economic structures*. Vladivostok: Pacific Institute of Geography, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. P. 23–27 (in Russian).
- Klimova A.V., Ermakova S.V. 2013. Distribution of kelp seaweeds stocks near southeast Kamchatka. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. Vol. 23. P. 58–64 (in Russian).
- Klimova A.V., Sokolov M.A., Klochkova T.A. et al. 2023. Evaluation of kelp beds from

- Vilyuchinskaya Bay (South-eastern Kamchatka) by satellite imagery technology. *Proceedings of the XXIV International Scientific Conference* "Conservation of biodiversity of Kamchatka and adjacent seas". Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress Publ. P. 95–100 (in Russian).
- Klochkova N.G., Berezovskaya V.A. 1997. Algae of Kamchatka's shelf. Distribution, biology, chemical composition. Vladivostok: Dalnauka Publ. 155 p. (in Russian)
- Klochkova N.G., Berezovskaya V.A., Lyandzberg A.R. 2002. Analysis of the flora of Kamchatka's coast by the method of specific floras. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. Iss. 1. P. 48–58 (in Russian).
- Korostelev S.G., Danilin D.D., Kornev S.I. 2021. On the scale and possible causes of marine aquatic organism stranding in September–October 2020 on the coast of southern Kamchatka and the northern Kuril Islands. *Proceedings of the 2nd National (All-Russian) Scientific and Practical Conference* "Moiseyev Readings" (Regional development issues of the Russian Far East and the Arctic). Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress Publ. P. 34–39 (in Russian).
- Korostelev S.G., Danilin D.D., Zhigadlova G.G. et al. 2023. Succession of coastal aquatic communities caused by the 2020 harmful algal bloom in the Pacific waters of Kamchatka and the northern Kuril Islands. *Proceedings of the conference "Results of expeditionary research in 2022 in the World Ocean, inland waters, the Svalbard Archipelago, and the Kamchatka Peninsula"*. Moscow: RTU MIREA Publ. P. 299–304 (in Russian).
- Pisareva N.A., Klochkova N.G. 2008. Macrophytobenthos of the Vilyuchinskaya Bay (southeast Kamchatka). *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. Iss. 7. P. 166–172 (in Russian).
- Sanamyan N.P., Korobok A.V., Sanamyan K.E. 2023. Qualitative assessment of algae harmful bloom impact in autumn 2020 off the coast of south-eastern Kamchatka (north-west Pacific) on shallow-water benthic communities. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. Iss. 63. P. 22–44 (in Russian).
- Semkin P.Yu., Pavlova G.Yu., Barabanshchikov Yu.A. et al. 2023. Hydrochemical characteristics of Vilyuchinskaya and Avacha Bays (Eastern Kamchatka) under the influence of continental runoff from volcanic areas. *Materialy XXVI konferentsii, posvyashchennoy Dnyu vulkanologov (Proceedings of the 26th conference dedicated to Volcanologist's Day)*. IVS FEB RAS Publ. P. 215–218 (in Russian).
- Tokranov A.M., Danilin D. D., Zhigadlova G.G. 2021. Assessing the impact of the adverse environmental conditions that arose off the coast of Kamchatka in the fall of 2020 on representatives of various groups of aquatic organisms. *Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference* "Marine Research and Education (MARESEDU-2021)". Tver: PoliPRESS. Iss. 2. P. 93–96 (in Russian).
- Tokranov A.M., Burdin A.M., Danilin D.D. et al. 2024. State of the coastal biota of southeastern Kamchatka three years after the harmful algae bloom in autumn 2020. Marine Expeditionary Research in Russia in 2023. *Proceedings of the Conference* "Results of expeditionary research in 2023 in the World Ocean and inland waters, on the Spitsbergen Archipelago and the Kamchatka Peninsula". Moscow: RTU MIREA Publ. P. 59–61 (in Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Архипова Елена Анатольевна – Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии; 683000, Россия, Петропавловск-Камчатский; кандидат биологических наук, специалист лаборатории морских рыб; Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН; 683000, Россия, Петропавловск-Камчатский; старший научный сотрудник; kamarhipova@mail.ru. SPIN-код: 1364-0662, Author ID: 961320.

Arkhipova Elena Anatolievna – Kamchatka Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography; 683000, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Candidate of Biological Sciences, Marine Fish Laboratory Specialist; Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute of FEB RAS; 683000, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Senior Researcher; kamarhipova@mail.ru. SPIN-code: 1364-0662, Author ID: 961320.

Коростелев Сергей Георгиевич – Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН; 683000, Россия, Петропавловск-Камчатский; доктор биологических наук, директор; korostelevs@mail.ru. SPIN-код: 2345-0471, Author ID: 208393.

Korostelev Sergey Georgievich – Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute of FEB RAS; 683000, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Doctor of Biological Sciences, Director; korostelevs@mail.ru; SPIN-code: 2345-0471, Author ID: 208393.

Статья поступила в редакцию 26.09.2025; одобрена после рецензирования 11.11.2025; статья принята к публикации 18.12.2025.

The article was submitted 26.09.2025; approved after reviewing 11.11.2025; accepted for publication 18.12.2025.

Для цитирования: Архипова Е.А., Коростелев С.Г. 2025. Макрофитобентос бухты Вилучинской Авачинского залива (Северо-Западная Пацифика) летом 2002 года. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. Вып. 74. С. 73–85. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2025-74-73-85>.

For citation: Arkhipova E.A., Korostelev S.G. 2025. Macrophytobenthos of Vilyuchinskaya bay of Avacha gulf (Northwest Pacific) in summer 2002. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. Iss. 74. P. 73–85 (in Russian). <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2025-74-73-85>.

Научная статья

УДК 631:582.272.46

DOI: 10.17217/2079-0333-2025-74-86-96

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНОГО ЭКСТРАКТА
КАМЧАТСКОЙ МОРСКОЙ БУРОЙ ВОДОРОСЛИ *ALARIA ESCULENTA*
(LAMINARIALES) КАК БИОСТИМУЛЯТОРА ПРОРАСТАНИЯ
СЕМЯН *VIGNA RADIATA* (FABALES)**

Клочкова Н.Г.^{1,2}, Рогатых С.В.^{2,1}

¹ Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Партизанская, 6.

² Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга, Петропавловск-Камчатский, ул. Пограничная, 4.

Обсуждаются результаты экспериментов, направленных на изучение влияния водных экстрактов ламинариевой водоросли *Alaria esculenta* на прорастание семян *Vigna radiata* (Fabales) и на определение концентраций экстрактов, оказывающих наилучшее воздействие на формирование у них зародышевых корешков и рост побегов. Экстракт *A. esculenta* был получен при гидромодуле 1 : 3 и температуре 45–48°C. Контрольная и экспериментальные группы включали по 60 семян. Для их прорастания использовали растворы экстракта 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20% и дистиллированную воду для контрольной группы. Лучший эффект был получен при использовании экстракта с концентрацией 12%. Он способствовал увеличению корней в два раза и общей длины проростков в пять раз.

Ключевые слова: водорослевый экстракт, ламинариевые, Камчатка, ростостимуляция, энергия прорастания, *Alaria esculenta*.

Original article

**THE EFFECT OF AQUEOUS EXTRACT FROM THE KELP SPECIES,
ALARIA ESCULENTA, FROM KAMCHATKA AS A BIOSTIMULATOR
OF *VIGNA RADIATA* (FABALES) SEED GERMINATION**

Klochkova N.G.^{1,2}, Rogatykh S.V.^{2,1}

¹ Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute of FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Partizanskaya Str. 6.

² Kamchatsky State Vitus Bering University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Pogranichnaya Str. 4.

In this paper, we discuss the results of experiments aimed at studying the effect of aqueous extracts of kelp species *Alaria esculenta* on the germination of *Vigna radiata* (Fabales) seeds. We determined concentrations of extracts that had the best effect on the formation of the germinal roots and shoot growth. *A. esculenta* extract was obtained at a 1 : 3 hydromodule and a temperature of 45–48°C. The control and experimental groups included 60 seeds each. Extract solutions of 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20% and distilled water as control group were used to check the seed germination. The best effect was obtained when using extract with 12% concentration. It increased the length of roots 2 times and the total length of the seedlings by 5 times.

Key words: seaweed extract, kelp, Kamchatka, growth stimulation, germination energy, *Alaria esculenta*.

ВВЕДЕНИЕ

Морские водоросли с давних пор используются в сельском хозяйстве прибрежных регионов в качестве кондионера почв, эффективного удобрения, содержащего ценные для растений органические и минеральные вещества, способствующие улучшению их роста, повышению объемов и качества получаемой продукции [Boukhar et al., 2020; Chrysargyris et al., 2018]. С середины прошлого века в органическом земледелии в качестве биостимуляторов широко используют жидкие экстракты из морских водорослей. Они в зависимости от содержания и композиции в их составе тех или иных биологически активных веществ (БАВ) улучшают эффективность питания, качественные характеристики и устойчивость сельскохозяйственных культур к абиотическому и биотическому стрессу.

В больших объемах как сырье для получения водных водорослевых экстрактов используются широко распространенные у берегов Южной Африки, тихоокеанской Америки и Европы гигантские ламинариевые *Ecklonia maxima* (Osbeck) Papenfuss и *Macrocystis pyrifera* (Linnaeus) C. Agardh, а также фукусавая водоросль *Ascophyllum nodosum* (Linnaeus) Le Jolis. Там их используют для получения таких широко известных коммерческих водорослевых препаратов, как Kelpak и Goëmar BM 86 [Stirk, van Staden, 1977]. Многочисленные эксперименты и наблюдения подтвердили их эффективность и способность усиливать адаптацию растений к температурному стрессу, водному дефициту, засолению почв и другим неблагоприятным экологическим факторам, а также способность активировать у них защитных реакции от вредителей и патогенов [Zhang, Ervin, 2004; Demir et al., 2006; Spinelli et al., 2010; Begum et al., 2018].

В настоящее время в Европе, Северной Америке и Китае в больших объемах производятся сухие препараты, представляющие собой лиофилизированные экстракты морских водорослей. Они используются для внекорневой обработки растений и внесения в почву. Их несомненным преимуществом перед жидкими биостимуляторами является большая длительность хранения, уменьшение затрат на транспортировку. Сухие водорослевые экстракты показали также высокую эффективность опудривания черенков, стимулируя у них корнеобразование и защиту от проникновения патогенов.

Для получения достаточного количества сухих и жидких водорослевых экстрактов необходимы значительные объемы морского растительного сырья. Его способны обеспечить виды с высокими продуктивностью и скоростью возобновления. В холодных и умеренных широтах российского Дальнего Востока к ним, в первую очередь, относятся представители порядка Laminariales. Их разные виды встречаются во всех дальневосточных морях и представлены там значительным биологическим разнообразием. В первую очередь они представляют особый интерес как источник производства водорослевых препаратов сельскохозяйственного назначения.

Одним из самых широко распространенных на российском Дальнем Востоке видов ламинариевых является *Alaria esculenta* (Linnaeus) Greville. Она привлекла наше внимание как объект изучения действия ее экстракта на рост и развитие сельскохозяйственных растений, потому что он хорошо зарекомендовал себя при изучении эффекта праймирования им фагоцитарной активности нейтрофилов [Клочкова, Перевенко, 2024], показал самую высокую ростостимулирующую активность при проращивании семян пшеницы озимой, листового салата и моркови [Баширова и др., 2019],

а также культивируемой на Камчатке земляники крупноплодной [Дахно и др., 2025]. Целью настоящего исследования было изучение ответных реакций семян бобовой культуры *Vigna radiata* (Linnaeus) Wilczek на воздействие на них разноконцентрированных растворов экстракта *A. esculenta* и выбор среди них наиболее эффективных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Vigna radiata известна в обиходе как вигна лучистая или маш. У нее достаточно крупные быстро прорастающие семена, высокая скорость развития проростков. Она активно реагирует на воздействие биостимулирующих веществ, и потому ее широко используют в лабораторных экспериментах для изучения воздействия БАВ водорослевых экстрактов из разных видов зеленых, красных и бурых морских водорослей [Kannan et al., 1990; Gireesh et al., 2011; Castellanos-Barriga et al., 2017; Karthik, Jayasri, 2023].

Прежде описания способа получения экстракта *A. esculenta* и результатов экспериментов по его использованию отметим, что слоевище этого вида состоит из достаточно тонкой пластины, имеющей выпуклую центральную жилку, черешка, несущего с обеих сторон пучки небольших спороносных листочков-спорофиллов и пучка ризоидов, прикрепляющих растения к грунту. Изучение биологии развития алярии показывает, что в холодоумеренных водах она вегетирует четыре года. К концу осени количество сухих веществ у ее представителей, как и у большинства других ламинариевых, достигает максимума. При этом в разных частях слоевища – пластине, жилке и спорофиллах – оно разное [Конева, Аминина, 2013].

Для получения экстракта *A. esculenta* были использованы свежие образцы одно-размерных фертильных растений второго-

третьего годов жизни, собранные в бух. Вилючинской (Авачинский залив, Юго-Восточная Камчатка) 23 октября 2024 г. Из них были взяты участки пластин в их нижней трети и спорофиллы. Соотношение их массовых долей составляло 1 : 1. Данную смесь измельчили в блендере до получения частиц 2–5 мм в поперечнике и 100 г полученной водорослевой смеси залили деионизированной дистиллированной водой в соотношении 1 : 3.

Для повышения скорости экстрагирования водорастворимых веществ полученную водно-водорослевую смесь в течение 20 часов подвергали нагреванию до 45°C. Такая температура достаточно быстро вызывает у клеток ламинариевых гибель от теплового шока, но при этом не разрушает и не инактивирует органические молекулы. После процеживания и фильтрации полученный экстракт хранили в холодильнике при температуре 4°C. Из научной литературы известно, что лучшее влияние на прорастание семян и раннее развитие растений оказывают низкие концентрации экстрактов и что диапазон их эффективности лежит в достаточно узком пределе [Castellanos-Barriga et al., 2017]. Исходя из этого представления, для проведения эксперимента по проращиванию семян маша были приготовлены рабочие растворы экстракта (РЭ) с концентрацией 6, 8, 10 и 12%. Поскольку после его завершения не была выявлена верхняя граница диапазона эффективного разбавления экстракта, для продолжения исследований был проведен повторный эксперимент с тем же ранее приготовленным экстрактом *A. esculenta*, разбавленным дистиллированной водой до 14, 16, 18 и 20%.

В обоих экспериментах каждая выборка семян маша включала 60 шт. Их раскладывали по 30 шт. в двух чашках Петри на бумажные диски из фильтровальной бума-

ги. Для увлажнения разных экспериментальных групп семян (ЭГ) использовали РЭ с указанными выше концентрациями. Контрольную группу семян увлажняли дистиллированной водой. Энергию прорастания, всхожесть семян, длину зародышевых корней, эпикотили и гипокотили и общую длину проростков определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 12038-84 на четвертый и десятый дни эксперимента. До появления надземных побегов у какой-либо ЭГ семян чашки Петри укрывались алюминиевой фольгой, после их появления они некоторое время содержались под стеклянными крышками для сохранения влаги, а затем по мере роста надземной части проростков без них.

Первый эксперимент с использованием РЭ 6, 8, 10 и 12% был проведен в период с 03.02.2025 по 13.02.2025, второй с 14.03.2025 по 24.03.2025. Оба прошли при естественном комнатном освещении. Разная длина дня в феврале и марте, судя по различиям в размерных характеристиках проростков маша в контрольных группах, оказала влияние на скорость их развития. Это, к сожалению, не позволило провести прямое сравнение результатов первого и второго экспериментов, но в месте с тем позволило решить поставленную задачу – определить верхний диапазон эффективного разведения плотного экстракта.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Альгохимическое изучение *A. esculenta*, собранной у побережья Юго-Восточной Камчатки, свидетельствует о достаточно высоком накоплении у нее основных полисахаридов – альгиновых кислот (до 49,2% от сухой массы) и фукоидана (до 6,76% от сухой массы) [Конева, Аминина, 2013], а также маннита (до 15% от сухого веса). Этому виду свойственно, кроме того, вы-

сокое содержание минеральных веществ, органического йода, водорастворимых соединений [Аминина, 2015]. Судя по данным наших проведенных ранее исследований, 500 г сырой массы пластин и спорофиллов *A. esculenta* включают в свой состав 10 г минеральных веществ и 26 г органических. Водорастворимые соединения в общем составе последних достигают 2,5 г [Клочкова, Перервенко, 2024]. Входящие в их состав химические соединения, судя по высокому праймирующему воздействию на нейтрофилы крови, характеризуются высокой биологической активностью. Изучение научной литературы показывает, что таковыми могут быть содержащиеся у всех ламинариевых водорослей, в том числе у алярии, фукоиданы, ламинарин, флоротаннины, фитогормоны, такие как цитокинины, стероиды, витамины, свободные аминокислоты – предшественники ферментов – и некоторые минеральные элементы, легко усваиваемые растениями в коллоидном состоянии и способствующие их росту. Особенно ценными из них являются калий, магний, кальций, йод.

Статистическая обработка данных, полученных в ходе первого эксперимента, показала, что семена маша во всех экспериментальных группах имели высокую энергию прорастания и 100%-ную всхожесть в контроле и ЭГ I–IV (табл. 1).

При использовании РЭ с концентрациями 6–12% на четвертый день эксперимента у семян всех ЭГ появились только зародышевые корешки. Их длина у разных групп заметно различалась, и самыми большими среди них были корешки у проростков группы I, увлажнявшихся РЭ 6%, средние показатели были почти вдвое больше, чем зародышевые корешки у семян контрольной группы (рис. 1). На десятый день эксперимента средний показатель общей длины проростков всех ЭГ, обраба-

тывавшихся экстрактами *A. esculenta*, оказался бóльшим, чем в контроле. В ЭГ IV он превысил таковой в пять раз, в группе III – в три раза, в группах I и II – в 1,5 раза. Это

лишний раз подтверждает высокое ростостимулирующее воздействие водорослевых экстрактов на прорастание и развитие у растений корневой системы.

Таблица 1. Средние показатели энергии прорастания, всхожести семян и морфометрических характеристик проростков *Vigna radiata* в экспериментальных группах, увлажнявшихся растворами экстракта *Alaria esculenta* с концентрацией от 6 до 12%

Table 1. Average values of germination energy, seed germination, and morphometric characteristics of *Vigna radiata* seedlings in experimental groups treated with solutions of *Alaria esculenta* extract with concentrations from 6 to 12%

Характеристика	Экспериментальные группы I-IV/ Разведение водорослевого экстракта, %				Контрольная группа
	I/6%	II/8%	III/10%	IV/12%	
Энергия прорастания, % (4-й день)	100	100	100	100	100
Всхожесть, % (10-й день)	100	100	100	100	100
Общая длина, см (10-й день)	4,56	4,57	9,19	15,66	3,07
Длина эпикотиля, см (10-й день)	–	–	1,28	2,83	–
Длина гипокотиля, см (10-й день)	–	–	4,02	5,62	–
Длина корней на 4-й день, см	3,58	2,84	3,06	3,15	1,93
Длина корней на 10-й день, см	4,56	4,57	3,82	7,27	3,07
Среднесуточный прирост корней (с 4-го по 10-й день) по отношению к контролю, выраженный в процентах, %	84	153	68	363	100

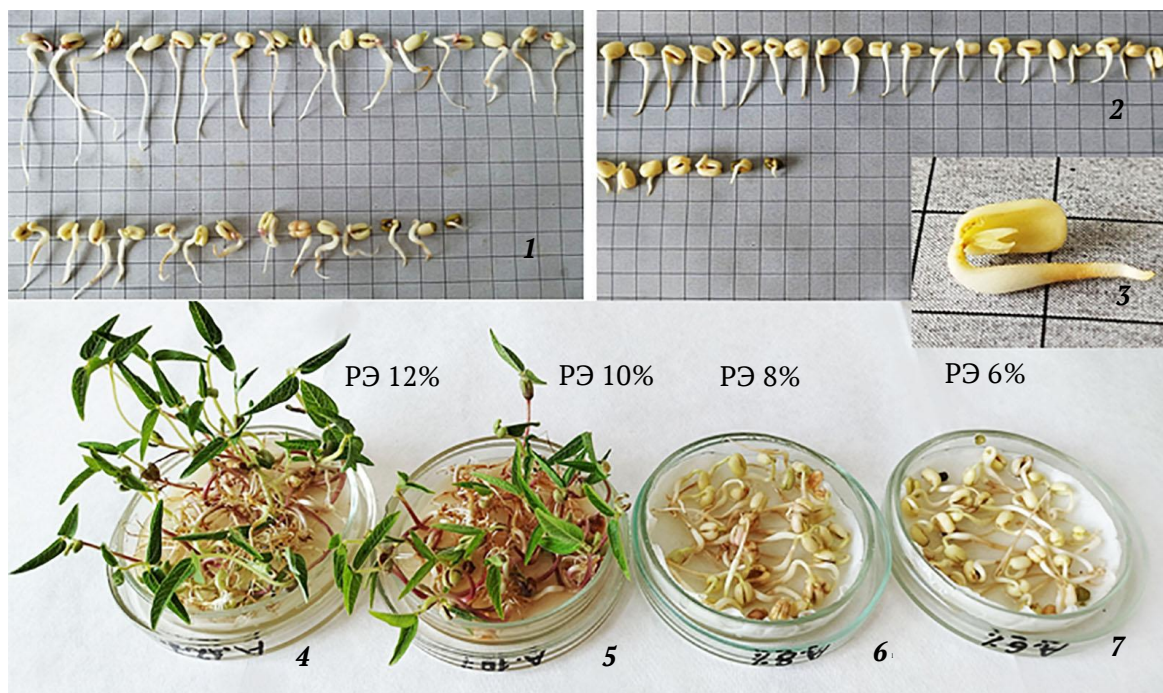


Рис. 1. Развитие семян *Vigna radiata* в опытной и контрольной группах с 03.02.2024 по 13.02.2024 г.: 1 – семена опытной группы после обработки экстрактом *Alaria esculenta* в концентрации 6% на четвертый день прорастания; 2 – семена контрольной группы на четвертый день прорастания; 3 – зародышевый стебель до появления из кожуры семян; 4–7 – морфология проростков после десятого дня эксперимента

Fig. 1. Development of *Vigna radiata* seeds in the experimental and control groups from 03.02.2024 to 13.02.2024: 1 – seeds of the experimental group after treatment with *Alaria esculenta* extract with 6% concentration on the fourth day of germination; 2 – seeds of the control group on the fourth day of germination; 3 – the germinal stalk before emerging from the seed peel; 4–7 – morphology of seedlings after the tenth days of the experiment

Из рисунка 1, 4–7 видно, что проростки контрольной группы и ЭГ I и II, обрабатывавшиеся РЭ 6 и 8%, на 10-й день эксперимента имели только зародышевые корешки, в то время как у проростков, обрабатывавшихся РЭ 10 и 12%, средние показатели общей средней длины надземной части составляли 5,3 и 8,45 см соответственно. Соотношение средней длины эпикотилиа – части стебля проростка, расположенного между семядолями и первыми настоящими листьями – к средней длине гипокотилиа – участка стебелька, расположенного между семядольными листьями и зародышевым корешком – у ЭГ III и IV было близко к 0,3 и 0,5.

Из научной литературы известно, что удлинение клеток гипокотилиа активно стимулируют гиббереллины – фитогормоны дитерпеновой природы. Возможно, что именно они вызвали активный рост гипокотилиа и что РЭ с концентрацией 12% имел самое оптимальное их сочетание и количество для оказания эффективного ростостимулирующего действия. Средний показатель длины корней на 10-й день эксперимента оказался также наибольшим в ЭГ IV, обрабатывавшейся РЭ 12%. Он был в два раза больше, чем в контроле, и в 1,6–1,9 раза больше, чем у семян, увлажнявшихся РЭ 6, 8 и 10%.

Для оценки скорости развития семян, испытывавших воздействие водорослевых экстрактов с разной концентрацией, был рассчитан такой показатель, как среднесуточный прирост корней в период с 4-го по 10-й день проращивания семян. Данные этих расчетов представлены в таблице 1 в виде процентов к среднему значению показателя среднесуточной скорости роста корешков в контрольной пробе, принятой нами за 100%. Их сравнительный анализ показывает, что РЭ 6 и 10% оказали на развитие зародышевых корней ингиби-

рующее, а концентрации 8 и 12% ростостимулирующее воздействие. Воздействие последней вызвало втрое больший, чем у семян контрольной группы, рост корней. У представителей ЭГ IV на десятый день развития появились множественные боковые корешки, и началось формирование на них боковых ответвлений второго порядка (рис. 2, 3). Воздействие РЭ 12%, кроме того, привело к интенсивному развитию корневых волосков, улучшавших функцию водного питания проростков (рис. 2, 2).

Проведенный эксперимент, таким образом, показал, что среди протестированных низкоконтцентрированных растворов экстракта *A. esculenta* наибольшую ростостимулирующую активность оказал РЭ 12%. Для того чтобы определить, является ли данная концентрация самой оптимальной и какой эффект на семена *V. radiata* вызывают его более высокие концентрации, был проведен второй эксперимент при других, как это было отмечено выше, в разделе «Материалы и методы», условиях освещения. Его результаты представлены в таблице 2.

Сравнительный анализ показывает, что незначительное ростостимулирующее воздействие на развитие семян маша оказал РЭ с концентрацией 14%. Остальные концентрации вызвали даже незначительное уменьшение большинства размерных характеристик. Проведенный эксперимент в целом показал, что дальнейшее увеличение концентрации РЭ не приводит к положительному ростостимулирующему эффекту и даже тормозит развитие семян. Это еще раз подтверждает вывод зарубежных коллег о чрезвычайной узости диапазона концентраций водных экстрактов, эффективно ускоряющих развитие семян *V. radiata* и *V. unguiculata* [Kannan et al., 1990; Gireesh et al., 2011; Karthik, Jayasri, 2023].

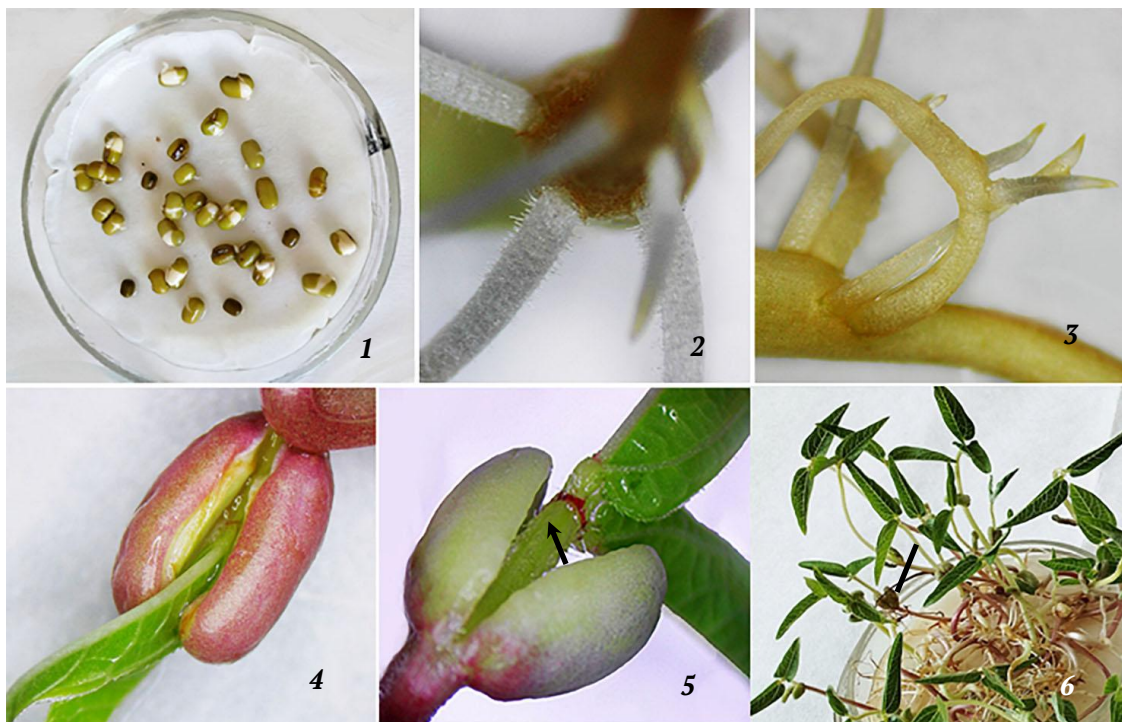


Рис. 2. Развитие *Vigna radiata* экспериментальной группы IV: 1 – стадия набухания семян; 2 – корневые волоски на боковых ответвлениях главного корешка на шестой день эксперимента; 3 – боковые ответвления второго порядка на десятый день эксперимента; 4 – опережающее развитие первой пары настоящих листьев; 5 – опережающее развитие гипокотилия (стрелка); 6 – растения после 10 дней прорастивания с сохранившимися семядольными листьями (стрелка)

Fig. 2. Development of *Vigna radiata* experimental group IV: 1 – the stage of seed swelling; 2 – root hairs on the lateral branches of the main root on the 6th day of the experiment; 3 – second-order lateral branches on the 10th day of the experiment; 4 – advanced development of the first pair of true leaves; 5 – advanced hypocotyl development (arrow); 6 – plants after the tenth days of germination with preserved cotyledon leaves (arrow)

Таблица 2. Средние показатели энергии прорастания, всхожести семян и морфометрических характеристик проростков *Vigna radiata* в экспериментальных группах, увлажнявшихся растворами экстракта *Alaria esculenta* с концентрацией от 14 до 20%

Table 2. Average values of germination energy, seed germination, and morphometric characteristics of *Vigna radiata* seedlings in experimental groups treated with solutions of *Alaria esculenta* extract with concentrations from 14 to 20%

Характеристика	Экспериментальные группы V-VIII/ Разведение водорослевого экстракта, %				Конт- рольная группа
	V/14%	VI/16%	VII/18%	VIII/20%	
Энергия прорастания, % (4-й день)	100	100	100	100	100
Всхожесть, % (10-й день)	100	100	100	100	100
Общая длина, см (10-й день)	16,52	14,48	15,71	13,13	16,31
Длина эпикотилия, см (10-й день)	3,21	2,47	3,08	3,06	3,13
Длина гипокотилия, см (10-й день)	5,71	5,64	5,22	5,29	5,45
Длина корней на 4-й день, см	2,4	2,58	2,33	2,25	1,83
Длина корней на 10-й день, см	8,71	6,37	7,41	4,77	7,73
Среднесуточный прирост корней (с 4-го по 10-й день) по отношению к контролю, выраженный в процентах	107	64	87	43	100

Важнейшей характеристикой проростков растений, определяющей успех их последующего развития, является оптимальное соотношение длины надземной и подземной частей растения. Слабое развитие корневой системы, как известно, понижает у них функцию минерального питания и водопотребления, снижает сопротивляемость взрослых растений к аэродинамической нагрузке. Результаты определения этого показателя показаны на рисунке 3.

Из представленного рисунка 3 видно, что, судя по показателям средних размеров зародышевых корешков у представителей всех экспериментальных контрольных групп, лучший отклик продемонстрировала ЭГ IV, увлажнявшаяся РЭ,

разведенным до 12%. Она же дала самое оптимальное соотношение длины подземной и надземной частей проростков. Интерпретируя результаты их морфометрического анализа, следует отметить, что ответные реакции семян и проростков *V. radiata* на воздействие разноконцентрированных РЭ не имели прямой корреляции с градиентом повышения концентрации. Это особенно очевидно при сравнении средних показателей общей длины проростков и длины их корешков. Это, скорее всего, объясняется синергетическим действием присущих ламинариевым водорослям БАВ, в одном случае активно повышающих, в другом снижающих скорость развития проростков *V. radiata*.

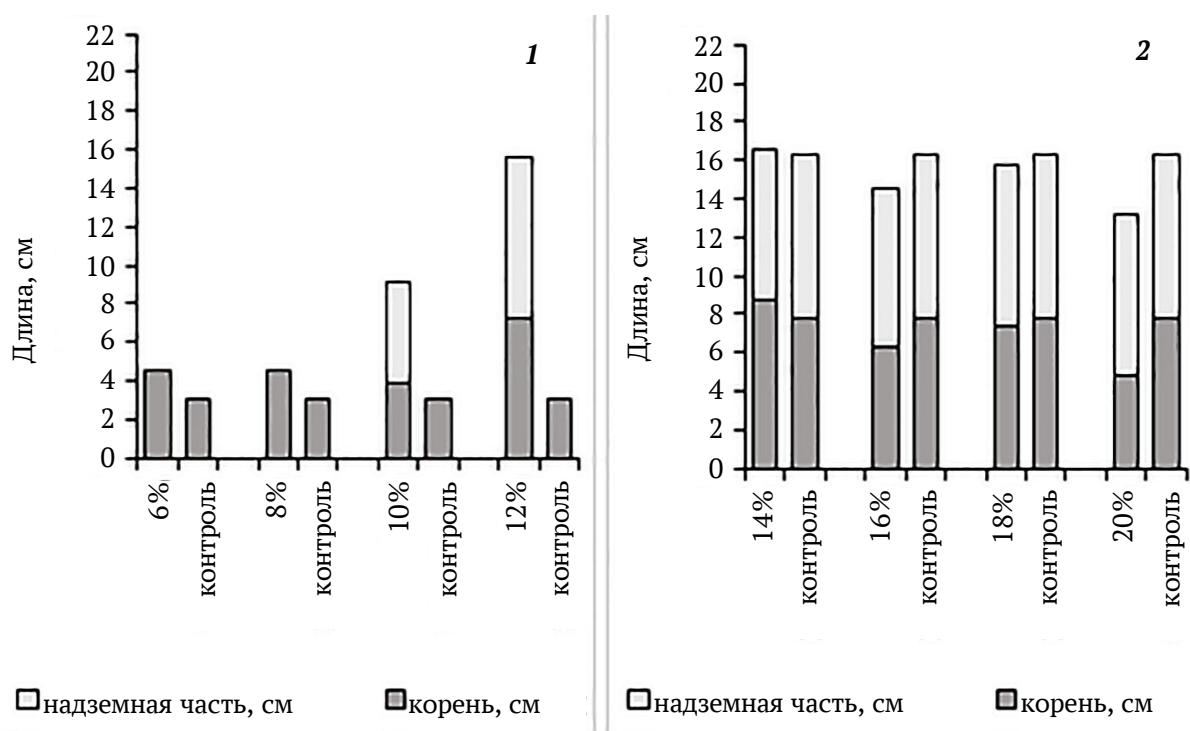


Рис. 3. Средние показатели длины зародышевого корешка и надземной части *Vigna radiata* у проростков контрольной группы и стимулировавшихся растворами экстракта *Alaria esculenta* с концентрацией 6–12% (1) и 14–20% (2) на десятый день развития проростков

Fig. 3. Average values of the length of the germinal root and the aboveground part of *Vigna radiata* in seedlings of control and experimental groups stimulated with solutions of *Alaria esculenta* extract with different concentrations 6–12% (1) and 14–20% (2) on the tenth days of seedling development

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

A. esculenta была выбрана для проведения настоящего исследования в связи с ее широким распространением в морях российского Дальнего Востока. Ее ареал здесь простирается от Чукотки до северных районов Японского моря, а также вдоль Курильских островов и Сахалина. Этот вид распространен на небольших глубинах, постоянно встречается в береговых выбросах. Благодаря этому, он может служить объектом промысла и использоваться в интересах растениеводства. Наши исследования показывают, что водные экстракты *A. esculenta* содержат ростостимулирующие вещества, которые при правильно подобранных для разных сельскохозяйственных культур концентрациях могут значительно ускорять формирование у них корневой системы и надземной части растений.

В проведенном эксперименте наилучший результат был получен при разбавлении насыщенного водного экстракта, полученного из пластин *A. esculenta* при гидромодуле 1 : 3 до 12%. Под воздействием данной концентрации РЭ общая длина проростков маша, по сравнению с контрольными, увеличилась в пять раз, а длина их корешков в два раза. Ее воздействие оказалось благотворным для формирования боковых корней и усиления функции водного питания за счет обильного развития корневых волосков.

В данном эксперименте для получения экстракта была использована только пластинчатая часть слоевища. Определение ростостимулирующей способности экстрактов черешков, ризоидов и спорофиллов *A. esculenta*, а также количественный и качественный состав содержащихся у нее биологически активных компонентов – дело будущего.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Настоящая работа выполнена по теме гранта РНФ «Разработка технологии извлечения биостимуляторов роста растений из камчатских морских водорослей. Апробация их росто- и иммунопротекторного воздействия на выращиваемые на Камчатке тепличные культуры» (№ 25-26-20128; eLIBRARY ID: 80590890, EDN: DASANC); теме государственного задания: «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 (КФ ТИГ ДВО РАН)); теме «Межведомственной программы комплексных научных исследований Камчатского полуострова и сопредельных акваторий», реализуемой ФГБОУ ВО «КамГУ им. Витуса Беринга».

ЛИТЕРАТУРА REFERENCES

- Аминина Н.М. 2015. Сравнительная характеристика бурых водорослей прибрежной зоны Дальнего Востока. *Известия ТИНРО*. Т. 182. С. 258–268.
- Aminina N.M. 2015. *Comparative characteristics of brown algae of the coastal zone of the Far East. Izvestiya TINRO (News of the Pacific Institute of Fishery and Oceanography)*. Vol. 182. P. 258–268 (in Russian).
- Баширова Р.Ф., Егорова Е.В., Ключкова Т.А. и др. 2019. Ростостимулирующая активность водных экстрактов камчатской бурой водоросли *Alaria esculenta*. *Материалы Национальной (всероссийская) научно-практической конференции «Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысло-*

- вое и техническое использование». Петропавловск-Камчатский. С. 11–14.
- Bashirova R.F., Egorova E.V., Klochkova T.A. et al. 2019. Growth-stimulating activity of aqueous extracts of Kamchatka brown algae *Alaria esculenta*. Materials of the National (All-Russian) scientific and practical conference “Natural resources, their current state, protection, commercial and technical use”. Petropavlovsk-Kamchatsky. P. 11–14 (in Russian).
- Дахно Т.Г., Клочкова Н.Г., Дахно О.А. и др. 2025. Повышение продуктивности *Fragaria ananassa* Duch. под воздействием экстрактов из морских водорослей. Вестник Курской ГСХА. № 3. С. 91–98.
- Dakhno T.G., Klochkova N.G., Dakhno O.A. et al. 2025. Increasing the productivity of *Fragaria ananassa* Duch. under the influence of extracts from seaweed. Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy selskohozyaistvennoy akademii (Bulletin of the Kursk State Agrarian Academy). № 3. P. 91–98 (in Russian).
- Клочкова Н.Г., Перервенко О.В. 2024. Использование водных экстрактов камчатских бурых водорослей для стимуляции фагоцитарной функции нейтрофилов *in vitro*. Вестник Камчатского государственного технического университета. Вып. 70. С. 38–53.
- Klochkova N.G., Perervenko O.V. 2024. The use of aqueous extracts of Kamchatka brown algae to stimulate the phagocytic function of neutrophils *in vitro*. Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta (Bulletin of the Kamchatka State Technical University). Iss. 70. P. 38–53 (in Russian).
- Конева А.А., Аминина Н.М. 2013. Химический состав различных частей слоевища *Alaria marginata* P. et R. (Laminariales, Phaeophyta). Известия ТИНРО. Т. 175. С. 333–138.
- Koneva A.A., Aminina N.M. 2013. Chemical composition of various parts of the stratum of *Alaria marginata* P. et R. (Laminariales Phaeophyta). Izvestiya TINRO (The News of the Pacific Institute of Fisheries and Oceanography). Vol. 175. P. 333–138 (in Russian).
- Begum M., Bordoloi B.C., Singha D.D. et al. 2018. Role of seaweed extract on growth, yield and quality of some agricultural crops: A review. Agricultural Reviews. Vol. 39. Iss. 4. P. 321–326.
- Boukhari M.E., Barakate M., Bouhia Y. et al. 2020. Trends in seaweed extract based biostimulants: manufacturing process and beneficial effect on soil-plant systems. Plants. Vol. 9. № 3. P. 359–362.
- Castellanos-Barriga L.G., Santacruz-Ruvalcaba F., Hernández-Carmona G. et al. 2017. Effect of seaweed liquid extracts from *Ulva lactuca* on seedling growth of mung bean (*Vigna radiata*). Journal of Applied Phycology. Vol. 29. P. 2479–2488.
- Chrysargyris A., Xylia P., Anastasiou M. et al. 2018. Effects of *Ascophyllum nodosum* seaweed extracts on lettuce growth, physiology and fresh-cut salad storage under potassium deficiency. Journal of Science and Food Agriculture. Vol. 98. P. 5861–5872.
- Demir N., Dural B., Yildirim K. 2006. Effect of seaweed suspensions on seed germination of tomato, pepper and aubergine. Journal of Biological Sciences. № 6. P. 1130–1133.
- Gireesh R., Haridevi C.K., Salikutty J. 2011. Effect of *Ulva lactuca* extract on growth and proximate composition of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Journal of Research Biology. Vol. 8. P. 624–630.
- Kannan L., Tamilselvan C., Rajarao V.N. 1990. Effect of seaweed manure on *Vigna radiata* L. (green gram). In: Raja Rao V.N. (ed.). Perspective in Phycology. Today and Tomorrow's Printers and Publishers. New Delhi. P. 427–430.

- Karthik T., Jayasri M.A. 2023. Systematic study on the effect of seaweed fertilizer on the growth and yield of *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek (Mung bean). *Journal of Agriculture and Food Research*. Vol. 14. P. 1–13.
- Spinelli F., Fiori G., Noferini M. et al. 2010. A novel type of seaweed extract as a natural alternative to the use of iron chelates in strawberry production. *Scientia Horticulturae*. Vol. 125. P. 263–269.
- Stirk W.A., van Staden J. 1977. Comparison of cytokinin and auxin like activity in some commercially used seaweed extracts. *Journal of Applied Phycology*. Vol. 8. P. 503–508.
- Zhang X., Ervin E.H. 2004. Cytokinin-containing seaweed and humic acid extracts associated with creeping bentgrass leaf cytokinins and drought resistance. *Crop Science*. Vol. 44. P. 1737–1745.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Клочкова Нина Григорьевна – Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН; 683000, Россия, Петропавловск-Камчатский; доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории экологии растений; Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга; 683032, Россия, Петропавловск-Камчатский; ведущий научный сотрудник лаборатории биогеохимии и рекреационных ресурсов; ninakl@mail.ru. SPIN-код: 4701-2618, Author ID: 344281; Scopus ID: 6602583957.

Klochkova Nina Grigorievna – Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute of FEB RAS; 683000, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher of the Plant Ecology Laboratory; Vitus Bering Kamchatka State University; 683032, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Leading Researcher of Biogeochemistry and Recreational Resources Laboratory; ninakl@mail.ru. SPIN-code: 4701-2618, Author ID: 344281; Scopus ID: 6602583957.

Рогатых Станислав Валентинович – Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга; 683032, Россия, Петропавловск-Камчатский; кандидат биологических наук, заведующий лабораторией биогеохимии и рекреационных ресурсов; Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН; 683000, Россия, Петропавловск-Камчатский; старший научный сотрудник лаборатории экологии растений; rogarykhsv@yandex.ru. SPIN-код: 5646-0869, Author ID: 603974; Scopus ID: 37013949400.

Rogatykh Stanislav Valentinovich – Vitus Bering Kamchatka State University; 683032, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Candidate of Biological Sciences, Head of Biogeochemistry and Recreational Resources Laboratory; Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute FEB RAS; 683000, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Senior Researcher of the Plant Ecology Laboratory; rogarykhsv@yandex.ru. SPIN-code: 5646-0869, Author ID: 603974; Scopus ID: 37013949400.

Статья поступила в редакцию 10.10.2025; одобрена после рецензирования 27.11.2025; статья принята к публикации 18.12.2025.

The article was submitted 10.10.2025; approved after reviewing 27.11.2025; accepted for publication 18.12.2025.

Для цитирования: Клочкова Н.Г., Рогатых С.В. 2025. Эффективность использования водного экстракта камчатской морской бурой водоросли *Alaria esculenta* (Laminariales) как биостимулятора прорастания семян *Vigna radiata* (Fabales). *Вестник Камчатского государственного технического университета*. Вып. 74. С. 86–96. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2025-74-86-96>.

For citation: Klochkova N.G., Rogatykh S.V. 2025. The effect of aqueous extract from the kelp species, *Alaria esculenta*, from Kamchatka as a biostimulator of *Vigna radiata* (Fabales) seed germination. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* (Bulletin of Kamchatka State Technical University). Iss. 74. P. 86–96 (in Russian). <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2025-74-86-96>.

Научная статья

УДК 597.531(265.51)

DOI: 10.17217/2079-0333-2025-74-97-115

**МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИЧИНОК И МАЛЬКОВ
СЕДЛОВИДНОГО БЫЧКА *MICROCOTTUS SELLARIS* (COTTIDAE)
ИЗ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД КАМЧАТКИ И ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БЕРИНГОВА МОРЯ**

Григорьев С.С.¹, Седова Н.А.^{2,1}

¹ Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, ул. Партизанская, 6.

² Камчатский государственный технический университет, Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35.

Седловидный бычок *Microcottus sellaris* – мелкая донная рыба, широко распространенная в литоральной зоне прикамчатских и смежных вод. В работе дается характеристика меристических и пластических признаков ювенильных экземпляров длиной 11–25 мм в сравнении со взрослыми особями. Показано изменение пластических признаков и пигментации по мере развития молоди. По мере роста увеличиваются длина, ширина и высота головы, антедорсальная и антеанальная длины, длина рыла, длина верхней челюсти, горизонтальный и вертикальный диаметры глаза, длина основания грудного плавника. Изменение значений пластических признаков показывает превращение формы тела седловидного бычка из прогонистой на ранних стадиях развития в характерную бычкообразную, с большой головой и сужающуюся к хвосту, у взрослых особей.

Ключевые слова: меристические признаки, молодь, пигментация, пластические признаки, пропорции тела, седловидный бычок, ювенильные экземпляры, *Microcottus sellaris*.

Original article

**MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF LARVAE AND FRY
OF THE BRIGHTBELLY SCULPIN *MICROCOTTUS SELLARIS* (COTTIDAE)
FROM THE COASTAL WATERS OF KAMCHATKA AND THE WESTERN BERING SEA**

Grigorev S.S.¹, Sedova N.A.^{2,1}

¹ Kamchatka Branch of Pacific Geophysical Institute FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Partizanskaya Str. 6.

² Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Klyuchevskaya Str. 35.

Brightbelly sculpin *Microcottus sellaris* is a small bottom-dwelling fish common in the littoral zone of the Kamchatka Peninsula and adjacent waters. This paper characterizes the meristic and plastic features of juvenile specimens 11–25 mm long compared to adults. Changes in plastic traits and pigmentation as the juveniles develop are demonstrated. With growth, the length, width, and depth of the head, antedorsal and anteanal lengths, snout length, maxillary length, horizontal and vertical eye diameters, and pectoral fin base

length increase. Changes in plastic features values demonstrate the transformation of the brightbelly sculpin body shape from elongated in the early stages of development to a characteristic goby-like shape, with a large head and tapering toward the tail, in adults.

Key words: meristic features, juveniles, pigmentation, plastic features, body proportions, brightbelly sculpin, juvenile specimens, *Microcottus sellaris*.

ВВЕДЕНИЕ

Седловидный бычок *Microcottus sellaris* (Gilbert, 1895) относится к большой группе бычков-керчаков – к подсемейству *Myoxocephalinae* отряда скорпенообразных рыб (*Scorpaeniformes*). Долгое время считалось, что род *Microcottus* включает только один вид: *Microcottus sellaris*, широко распространенный в северной части Тихого океана [Виноградов, 1946; Кусакин и др., 1997; Пинчук, 1976а, 1976б; Неелов, 1979; Токранов, Шейко, 2015]. Сравнительно недавно был описан другой вид этого рода: матуанский бычок *M. matuaensis* Yabe, Pietsch, 2003, обитающий в прибрежных водах восточной части о-ва Матуа (центральные Курильские острова). Этот вид является вторым видом рода, отличается от *M. sellaris* тремя парами отчетливых костных бугорков на дорсальной поверхности затылка, глубоко вогнутым межглазничным пространством и отсутствием первой поры надглазничного сенсорного канала [Yabe, Pietsch, 2003]. Информация о поимке этого вида где-либо, кроме острова Матуа, в литературе отсутствует.

Вид *M. sellaris* обладает значительным морфологическим сходством с видами родов *Myoxocephalus* и *Porocottus* [Шмидт, 1950; Андрияшев, 1954; Неелов, 1979; Линдберг, Красюкова, 1987; Морева, 2020], вследствие этого единое мнение о его систематическом положении долгое время отсутствовало [Солдатов, Линдберг, 1930; Таранец, 1937; Морева, 2020]. Сравнительный анализ сеймосенсорной системы

и морфологических признаков позволил вывести род *Microcottus* из состава трибы *Myoxocephalini* и включить его в отдельную трибу *Microcottini* [Неелов, 1979], что также было подтверждено сравнением кариологических признаков этого вида с кариотипами видов рода *Myoxocephalus* [Морева, 2020]. Замечено, что этот вид характеризуется наибольшей изменчивостью многих признаков по сравнению с близкими видами из родов *Porocottus* и *Argyrocottus* [Неелов, 1976; Линдберг и Красюкова, 1987].

Седловидный бычок *Microcottus sellaris* (Gilbert, 1895) – мелкая донная рыба, длина которой не превышает 17 см [Токранов, 2013]. Тело в передней части высокое, резко суживающееся к хвосту. Голова большая, с характерным седловидным профилем. Верхний предкрышечный шип изогнут вверх, второй шип по длине составляет половину верхнего, третий шип редуцирован или очень мал. Носовые шипы имеются. Первый луч спинного плавника очень маленький. Боковая линия тройная, с хорошо развитыми добавочными верхними и нижними порами. По верхней части тела проходят три широкие темные полосы, разделенные более светлыми полосами. *D* VIII–IX, 12–14; *A* 10–12; *P* 15–17; *LL* 32–34; *Vert.* 32–34 [Masuda et al., 1984; Линдберг, Красюкова, 1987].

Преимущественно бореальный приазиатский вид. Распространен от южной части Чукотского моря преимущественно по азиатскому побережью на юг в Беринговом (по азиатскому и американскому побережьям), Охотском и Японском морях

до зал. Петра Великого [Yabe, 1983; Robins et al., 1991; Черешнев и др., 2001; Федоров и др., 2003; Соколовский и др., 2007; Парин и др., 2014; Mecklenburg et al., 2016; Fricke et al., 2018]. У побережья Камчатки и Чукотки этот вид распространен повсеместно [Шейко, Федоров, 2000]. В составе ихтиофауны Авачинской губы отмечен как редкий вид, представленный в сборах на литорали и в приливных лужах только взрослыми экземплярами [Токранов, Шейко, 2015]. В июне 2023 г. при обследовании литоральных луж Авачинской губы в районе бух. Раковой сачком были пойманы 3 экз. молоди седловидного бычка длиной 17, 18 и 61 мм [Токранов, 2024]. Хозяйственного значения вид не имеет.

Сведения о биологии ограничены. Известно, что седловидный бычок ведет донный образ жизни, встречается в прибрежье на глубине от 0 до 60 м и переносит значительное опреснение. Обычен в литоральной зоне на глубинах до 30 м. Ранней весной подходит на нерест на небольшие глубины [Токранов, 1981; Линдберг, Красюкова, 1987; Черешнев и др., 2001; Mecklenburg et al., 2002; Соколовский и др., 2011; Токранов, 2013]. Вероятно, нерестится в литоральной зоне, а личинки и мальки переносятся в устья рек приливами [Максименков, 1996].

Несмотря на широкое распространение седловидного бычка, информации о его раннем развитии в литературе крайне мало. Известны меристические признаки личинок рода *Microcottus* из американских прибрежных вод: позвонков 32–34, шипов спинного плавника VII–IX, мягких лучей спинного плавника 12–14, лучей анального плавника 14–17, в брюшном плавнике один колючий и три мягких луча [Washington et al., 1984].

Имеется описание двух ювенильных экземпляров *M. sellaris* длиной тела 20 и

21 мм (*SL*) из северной части Охотского моря [Воскобойникова и др., 2012]. Приведены их счетные признаки. Дана характеристика пигментации этих экземпляров, приведено фото и рисунок ювенильной особи длиной 20 мм. Но описание личиночных стадий вида *M. sellaris* в литературе отсутствует.

Целью настоящего исследования является морфологическое описание и выяснение особенностей раннего развития седловидного бычка из прибрежных вод Камчатки и Чукотки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованы личинки, молодь и взрослые экземпляры седловидного бычка *M. sellaris*, пойманные в прибрежных водах Камчатки и в западной части Берингова моря (рис. 1). Личинки и мальки были пойманы в приливных лужах на песчаном грунте во время отлива в эстуарии и устье р. Хатырки в Беринговом море. В Авачинской губе (восточное побережье Камчатки) личинок и мальков ловили на литорали, в прибрежье над каменистым грунтом и в приливных лужах (рис. 2). Полная длина пойманных ранних стадий развития седловидного бычка составила в Беринговом море 11–24 мм, в Авачинской губе 16–26 мм. Использовался сачок из газа с шагом ячеи 0,56 мм с диаметром входного отверстия 40 см.

Для наблюдения за изменениями морфологических признаков по мере роста использовали взрослых экземпляров седловидного бычка длиной тела 60–150 мм с западного побережья Камчатки и прибрежных вод Охотского моря из коллекционных сборов Камчатского филиала Тихоокеанского института географии ДВО РАН. Количество использованного материала приведено в таблице 1.

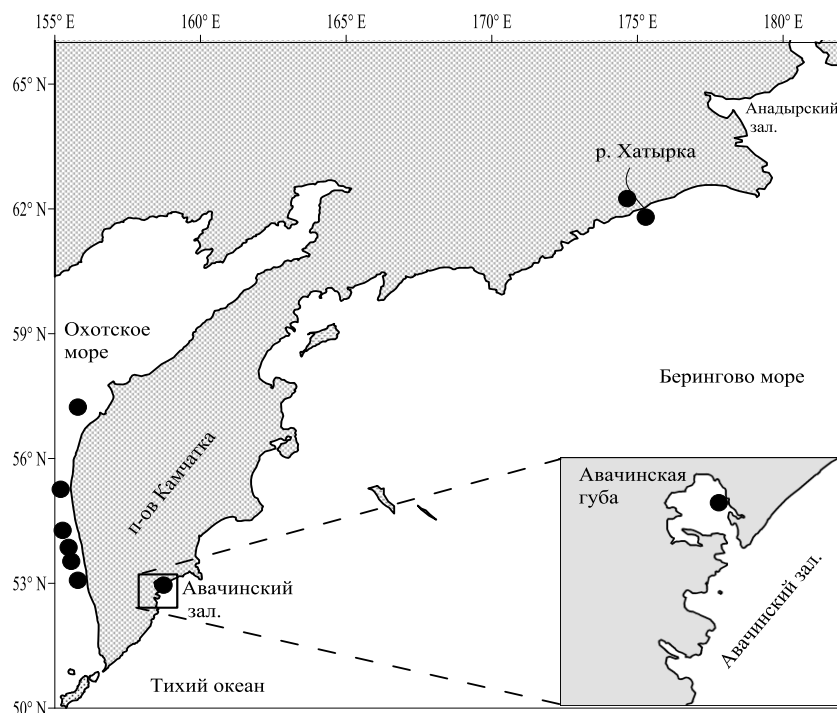


Рис. 1. Места сбора материала по раннему развитию седловидного бычка *Microcottus sellaris* в прикамчатских и сопредельных водах

Fig. 1. Locations of collection of material on the early development of the brightbelly sculpin *Microcottus sellaris* in Kamchatka and adjacent waters



Рис. 2. Место лова личинок и мальков седловидного бычка *Microcottus sellaris* в приливных лужах и на литорали в Авачинской губе

Fig. 2. The place of catching larvae and fry of the brightbelly sculpin *Microcottus sellaris* in tidal pools and in the littoral zone in Avacha Bay

Таблица 1. Количество материала, использованного для изучения морфологических признаков ранних стадий седловидного бычка *Microcottus sellaris* в прикамчатских и сопредельных водахTable 1. Amount of material used to study the morphological features of early stages of the brightbelly sculpin *Microcottus sellaris* in Kamchatka and adjacent waters

Район лова	Дата лова	Судно и место лова	Глуб. места, м	Орудие лова	Кол-во экз.	Длина тела (TL), мм	T _{воды} , °C	Сборщики
Западная Камчатка	15.06.1992	СРТМ «Пограничник Петров»	15	Оттер трал	10	80–150		Б.А. Шейко, В.А. Давыденко
	27.07.1999	СРТМ «Шурша»	20	Донный трал	1	105	1,34	А.В. Винников
	08.08.1999	СРТМ «Шурша»	15	Донный трал	1	105	9,8	А.В. Винников
	10.08.2002	СРТМ-К «Сопочное»	56	Донный трал	3	80		А.В. Винников
	27.07.2002	СРТМ-К «Сопочное»	20	Донный трал	3	60–110		А.В. Винников
	30.07.2002	СРТМ-К «Сопочное»	22	Донный трал	1	150		А.В. Винников
	31.07.2002	СРТМ-К «Сопочное»	48	Донный трал	1	90		А.В. Винников
	31.07.2002	СРТМ-К «Сопочное»	28	Донный трал	4	85–140		А.В. Винников
р. Хатырка	01.07.2011	Устье	0,1–0,5	Сачок	6	14,0–18,5		С.С. Григорьев
	02.07.2011	Устье	0,1–0,5	Сачок	7	15,5–20,0		С.С. Григорьев
	02.07.2011	Устье	0,1–0,5	Сачок	7	15,0–20,0		С.С. Григорьев
	13.07.2011	Эстуарий	0,1–0,5	Сачок	1	16,5		С.С. Григорьев
	14.07.2011	Эстуарий	0,1–0,5	Сачок	3	11,0–14,0		С.С. Григорьев
	19.07.2011	Устье	0,1–0,5	Сачок	4	14,5–18,0		С.С. Григорьев
	19.07.2011	Устье	0,1–0,5	Сачок	5	19,0–24,0		С.С. Григорьев
	28.07.2011	Эстуарий	0,1–0,5	Сачок	1	23,0		С.С. Григорьев
	31.07.2011	Устье	0,1–0,5	Сачок	4	17,0–21,0		С.С. Григорьев
	04.07.2023	Литораль	0,0–0,5	Сачок	1	26,0	10,2	С.С. Григорьев
Авачинская губа	17.05.2025	Литораль	0,0–0,5	Сачок	4	16,0–17,5		С.С. Григорьев, Н.А. Седова
	28.05.2025	Литораль	0,0–0,5	Сачок	14	16,0–22,0	14,9	С.С. Григорьев, Н.А. Седова

Личинок и мальков фиксировали 70%-ным этанолом, а взрослых экземпляров – 4%-ным формалином. Измерения пластических и подсчет меристических признаков выполняли по общепринятой методике [Правдин, 1966]. Для обозначения признаков использовали сокращения, принятые в современных исследованиях с некоторыми добавлениями. Использовали следующие обозначения: *SL* – стандартная длина тела, *s* – длина головы, *hc* – высота головы, *hw* – ширина головы, *H1* – высота тела у начала основания анального плав-

ника, *aD* – антедорсальное расстояние, *aA* – антеанальное расстояние, *ao* – длина рыла, *o* – горизонтальный диаметр глаза, *o2* – вертикальный диаметр глаза, *io* – межглазничное расстояние, *lmx* – длина верхней челюсти, *lP* – длина лучей грудного плавника, *bP* – длина основания грудного плавника, *hC* – высота хвостового стебля. Схема измерений представлена на рис. 3. Общую длину тела измеряли от переднего конца рыла до заднего края плавниковой каймы или до конца средних лучей хвостового плавника, стандартную – до осно-

вания средних лучей хвостового плавника. Для изучения изменений признаков по мере роста пойманную молодь разделили по длине тела (SL) на три группы: 11,0–15,0; 15,1–20,0 и 20,1–25,0 мм, признаки которых сравнивали со взрослыми экземплярами длиной тел (SL) 78–140 мм. Меристические признаки подсчитывали на фиксированном материале под бинокулярным микроскопом.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Идентификацию молоди седловидного бычка проводили по признакам взрослых особей [Линдберг, Красюкова, 1987]. Тело взрослых особей в передней части высокое, резко суживающееся к хвосту. Голова большая, с характерным седловидным профилем. Верхний предкрышечный шип изогнут вверх, второй шип по длине составляет половину верхнего, третий шип редуцирован или очень мал. Носовые ши-

пы имеются. Первый луч спинного плавника очень маленький. Боковая линия тройная, с хорошо развитыми добавочными верхними и нижними порами. По верхней части тела проходят три широкие темные полосы, разделенные более светлыми полосами. D VIII–IX, 12–14; A 10–12; P 15–17; LL 32–34; $Vert.$ 32–34. По другим данным, D VIII–X, 15; A 11–13; P 16–19; VI 3; C 2–8+6+6–7+3–6; $r.br.$ 6 [Воскобойникова и др., 2012]. Для рода *Microcottus* указано D VII–IX, 12–14; A 10–12; P 14–17; VI 3; $Vert.$ 32–34 [Matarese et al., 1989].

Отмечено, что у особи длиной 20 мм нет шипов, бугров или мочек на голове, у особи длиной 21 мм имеются носовые шипы. Из четырех шипов на *praeoperculum* первый, второй и четвертый – умеренной величины, третий – маленький. У более крупной особи первый луч ID очень короткий, соответствующий диагнозу рода *Microcottus* по описанию Линдберга и Красюковой [1987].

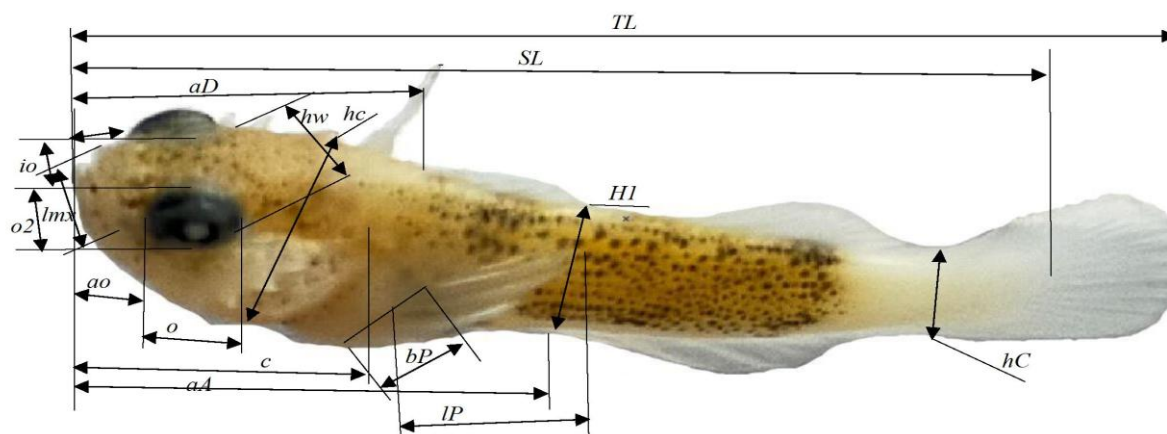


Рис. 3. Схема измерения молоди седловидного бычка *Microcottus sellaris*. Обозначения: c – длина головы, hw – ширина головы, hc – высота головы, $H1$ – высота тела у начала основания анального плавника, aD – антедорсальная длина, aA – антеанальная длина, ao – длина рыла, o – горизонтальный диаметр глаза, $o2$ – вертикальный диаметр глаза, lmx – длина верхней челюсти, bP – длина основания грудного плавника, io – межглазничное расстояние, lP – длина лучей грудного плавника, hC – высота хвостового стебля

Fig. 3. Measurement scheme for juvenile brightbelly sculpin *Microcottus sellaris*. Key: c – head length, hw – head width, hc – head height, $H1$ – body height at the beginning of the anal fin base, aD – antedorsoal length, aA – anteanal length, ao – snout length, o – horizontal eye diameter, $o2$ – vertical eye diameter, lmx – upper jaw length, bP – pectoral fin base length, io – interorbital distance, lP – pectoral fin ray length, hC – caudal peduncle height

У пойменных ювенильных экземпляров уже были выражены меристические признаки, начиная с самого мелкого экземпляра длиной тела 11,0 мм. *D* VII–X, 12–16; *A* 10–13; *P* 14–17 (рис. 4) *LL* 32–34. Полученные данные были в основном

в пределах, указанных в литературе. Меристические признаки седловидного бычка имели небольшую вариабильность. В целом количественные показатели меристических признаков были близки к литературным данным (табл. 2).

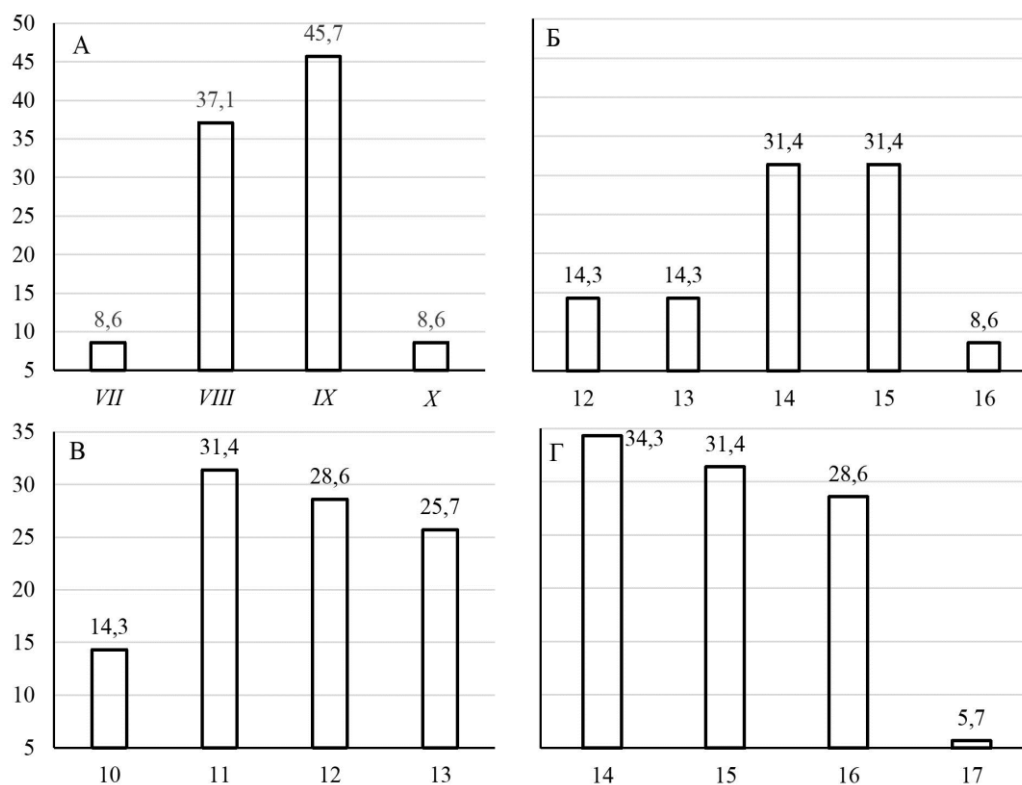


Рис. 4. Число лучей в плавниках седловидного бычка *Microcottus sellaris* из прикамчатских и смежных вод (спинном *D*, анальном *A* и брюшном *P*): А – колючих лучей в *D*; Б – мягких лучей в *D*; В – лучей в *A*; Г – лучей в *P*. По горизонтали: счетные признаки, по вертикали: процентное соотношение. $n = 120$ экз.

Fig. 4. Number of rays in the fins of the brightbelly sculpin *Microcottus sellaris* from Kamchatka and adjacent waters (dorsal *D*, anal *A* and ventral *P*): А – spiny rays in *D*; Б – soft rays in *D*; В – rays in *A*; Г – rays in *P*. Horizontal: countable characters, vertical: percentage ratio. $n = 120$ specimen

Таблица 2. Меристические признаки седловидного бычка *Microcottus sellaris* из прикамчатских и смежных вод ($n = 120$ экз.) в сравнении с литературными данными

Table 2. Meristic features of the brightbelly sculpin *Microcottus sellaris* from Kamchatka and adjacent waters ($n = 120$ specimen) in comparison with literature data

При- знаки	Прикамчатские воды			Литературные данные		
	Авачин- ская губа	Эстуарий р. Хатырки	Западная Камчатка	[Линдберг, Красюкова, 1987]	[Воскобойникова и др., 2012]	[Matarese et al., 1989], род <i>Microcottus</i>
Лучей плавников	<i>D</i> ₁	VIII–IX	VII–X	VIII–IX	VII–IX	VIII–X
	<i>D</i> ₂	12–14	12–16	15	12–14	15
	<i>A</i>	10–13	10–13	11–13	10–12	11–13
	<i>P</i>	14–16	14–17	15–16	15–17	16–19
	<i>C</i>	–	8+6+6–7+3–6	8+6+6–7+3–6	–	8+6+6–7+3–6
Vert.	32–34	32–34	32–34	32–34	–	32–34
<i>ll</i>	–	–	32–34	32–34	–	–

Описательная статистика пластических признаков (в % от длины тела SL) личинок и мальков седловидного бычка *Microcottus sellaris* в сравнении с признаками взрослых особей приведена в таблице 3. Показано, что степень разброса или рассеивания значений в наборе данных относительно их среднего значения (стандартное отклонение) уменьшается при развитии. Разброс данных меньше всего у взрослых экземпляров.

Изменение разброса пластических признаков ювенильных экземпляров седловидного бычка *Microcottus sellaris* по мере роста представлено на рис. 5. Показано, что значения большинства признаков (за исключением длины головы) в процессе раннего развития незначительно уменьшаются, демонстрируя небольшое увеличение прогонистости тела. Затем, после завершения малькового периода, наоборот, происходит увеличение значений этих показателей, что свидетельствует о приобретении характерной для седловидного бычка формы тела: более высокой в передней части и резко суживающейся к хвосту, с большой головой.

Анализ изменений пластических признаков седловидного бычка показал, что по мере роста увеличиваются длина, ширина и высота головы, антедорсальная и антеанальная длины, длина рыла, длина верхней челюсти, горизонтальный и вертикальный диаметры глаза, длина основания грудного плавника (см. рис. 6). Наиболее заметным изменениям подвержены длина и ширина головы и антедорсальная длина тела, величина достоверной аппроксимации (R^2) которых превышала 0,3. Изменение этих признаков показывает превращение формы тела седловидного бычка из прогонистой на ранних стадиях развития в характерную бычкообразную, с большой головой и сужающуюся к хвосту, у взрослых особей.

Такие признаки, как высота головы, межглазничное расстояние, длина наибольших лучей грудного плавника и высота хвостового стебля по мере роста седловидного бычка уменьшаются относительно длины тела (см. рис. 7), что также показывает превращение формы тела из прогонистой в бычкообразную по мере роста. Наиболее значительно уменьшаются межглазничное расстояние и высота хвостового стебля, величина достоверной аппроксимации (R^2) которых превышала 0,9.

Диаграммы изменения размаха пластических признаков ювенильных экземпляров седловидного бычка *Microcottus sellaris* по мере роста по размерным группам показаны на рисунке 8. Относительный размер длины головы уменьшается у взрослых особей. При развитии молодки практически не меняется. Размах данных меняется незначительно. Высота головы относительно длины тела уменьшается незначительно. Ширина головы более изменяющаяся величина. У взрослых особей размах этих значений больше, голова становится шире. Высота тела у начала основания анального плавника при развитии молодки постепенно уменьшается. Размах данных незначительный. Антеанальное расстояние относительно длины тела увеличивается незначительно. Но у взрослых особей этот показатель значительно ниже. Антеанальное расстояние относительно длины тела в процессе развития практически не изменяется, но размах данных у взрослых особей заметно меньше. Длина рыла небольшая, при развитии изменяется относительно длины тела незначительно, но размах данных у взрослых экземпляров чуть меньше. Горизонтальный диаметр глаза относительно длины практически не меняется, но размах данных у взрослых экземпляров немного меньше. Вертикальный диаметр глаза изменяется примерно так же.

Таблица 3. Описательная статистика пластических признаков личинок и мальков седловидного бычка *Microcottus sellaris* из прикамчатских и смежных вод в сравнении с признаками взрослых особей

Table 3. Descriptive statistics of plastic features of larvae and fry of brightbelly sculpin *Microcottus sellaris* from Kamchatka and adjacent waters in comparison with the features of adults

Признаки	11,0–15,0 мм				15,1–20,0 мм				20,1–25,0 мм				78,0–140,0 мм																
	Число измерений	Среднее	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение	Число измерений	Среднее	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение	Число измерений	Среднее	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение	Число измерений	Среднее	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение									
SL C Hc Hw HI aD aA Ao O o2 Io Lmx IP bP hC	5	12,78	11,00	14,70	1,52	17	16,30	1,00	20,00	4,35	7	22,22	20,20	25,00	1,66	3	83,33	76,00	93,00	1,15									
	5	30,66	27,20	35,50	3,33	17	29,76	22,00	36,12	3,97	7	28,67	24,33	36,00	4,73	3	37,32	34,44	39,74	2,67									
	5	25,94	21,40	29,60	3,56	17	23,71	20,34	27,50	2,07	7	22,28	19,80	24,40	1,67	3	24,47	21,11	26,66	2,95									
	5	27,56	20,40	33,90	6,04	17	25,61	19,16	35,00	4,90	7	25,08	18,81	32,01	4,50	3	36,15	25,55	44,44	9,65									
	5	17,00	12,20	20,90	4,27	17	17,95	10,50	24,05	3,59	7	15,11	12,84	18,22	2,15	3	19,68	17,94	21,11	1,60									
	5	31,20	23,30	36,40	5,07	17	30,50	26,00	36,84	3,46	7	29,95	24,75	34,48	3,06	3	36,03	35,55	36,66	0,56									
	5	51,38	45,80	54,50	3,62	17	50,85	41,53	57,50	3,63	7	47,32	40,59	58,12	5,69	3	55,95	53,33	58,97	2,84									
	5	7,24	5,40	11,80	2,61	17	6,18	3,75	10,00	1,57	7	6,42	2,47	8,69	2,13	3	7,74	6,66	8,88	1,11									
	5	8,64	6,20	9,60	1,40	17	8,07	6,66	9,67	1,01	7	6,89	4,45	8,00	1,16	3	9,71	8,88	10,25	0,726									
	5	7,48	6,20	8,80	1,00	17	7,25	5,78	9,67	1,07	7	6,48	5,44	7,38	0,59	3	7,96	7,22	8,33	0,64									
Cr. ср. откл.	5	8,78	6,90	9,60	1,09	17	8,26	6,98	11,25	1,08	7	6,82	5,21	7,88	1,03	3	4,45	4,44	4,48	0,024									
	5	12,54	10,70	13,60	1,26	17	11,15	4,79	21,50	4,12	7	10,74	7,52	14,40	2,52	3	15,44	14,10	17,77	2,03									
	5	25,74	22,90	31,30	3,53	17	23,50	12,36	31,57	5,05	7	20,04	13,79	26,08	4,02	3	23,36	20,00	25,64	2,97									
	5	15,08	11,50	19,10	3,17	17	14,24	11,25	17,50	1,82	7	13,08	7,96	27,09	6,48	3	16,60	15,38	17,77	1,19									
	5	11,18	8,80	14,50	2,77	17	9,72	7,17	12,50	1,45	7	7,62	6,88	8,86	0,85	3	6,39	6,11	6,66	0,27									

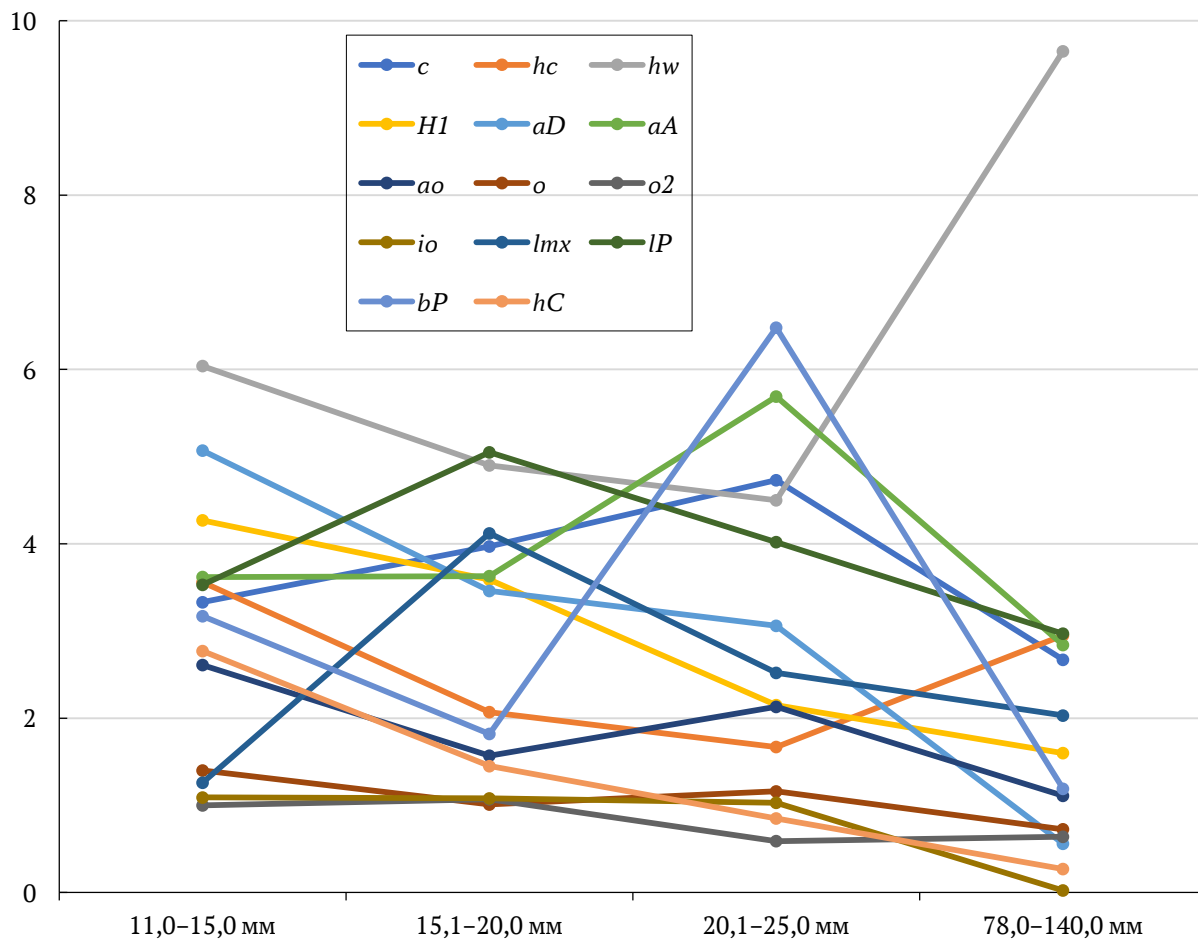


Рис. 5. Изменение стандартного отклонения пластических признаков у разных размерных групп седловидного бычка *Microcottus sellaris*. Обозначения как на рис. 3. По вертикали: стандартное отклонение. По горизонтали: размерные группы

Fig. 5. Change in the standard deviation of plastic features in different size groups of the brightbelly sculpin *Microcottus sellaris*. Designation as in fig. 3. Vertical: standard deviation. Horizontal: size groups

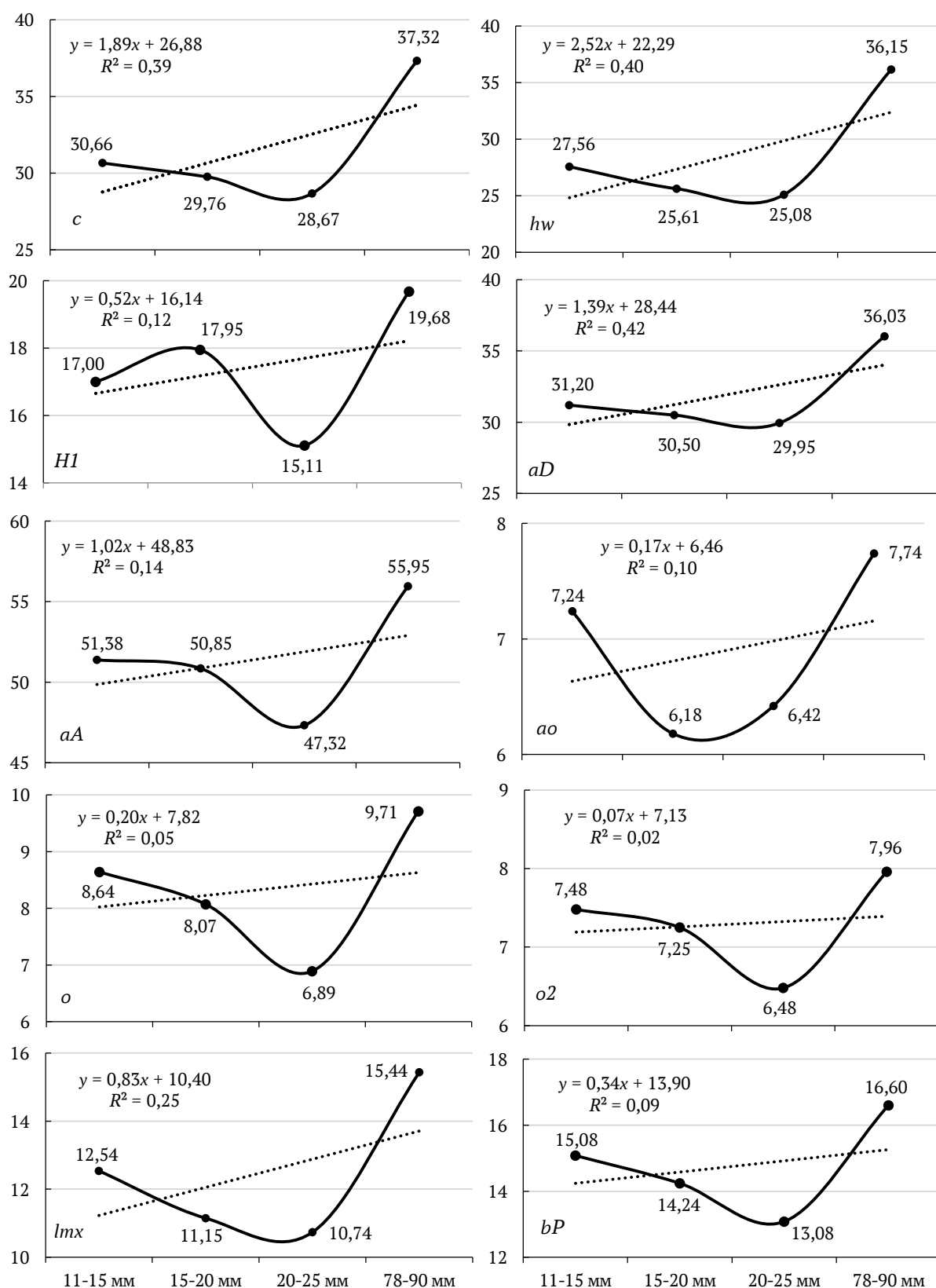


Рис. 6. Изменение пластических признаков седловидного бычка *Microcottus sellaris* по мере роста (увеличивающиеся характеристики) в % от длины тела. Обозначения как на рис. 3. По вертикали: процентное соотношение. По горизонтали: размерные группы. Показаны уравнение линии тренда (y) и коэффициент детерминации (R^2)

Fig. 6. Changes in the plastic features of the brightbelly sculpin *Microcottus sellaris* with growth (increasing characteristics) in % of body length. Designation as in fig. 3. Vertical: percentage. Horizontal: size groups. The trend line equation (y) and the coefficient of determination (R^2) are shown

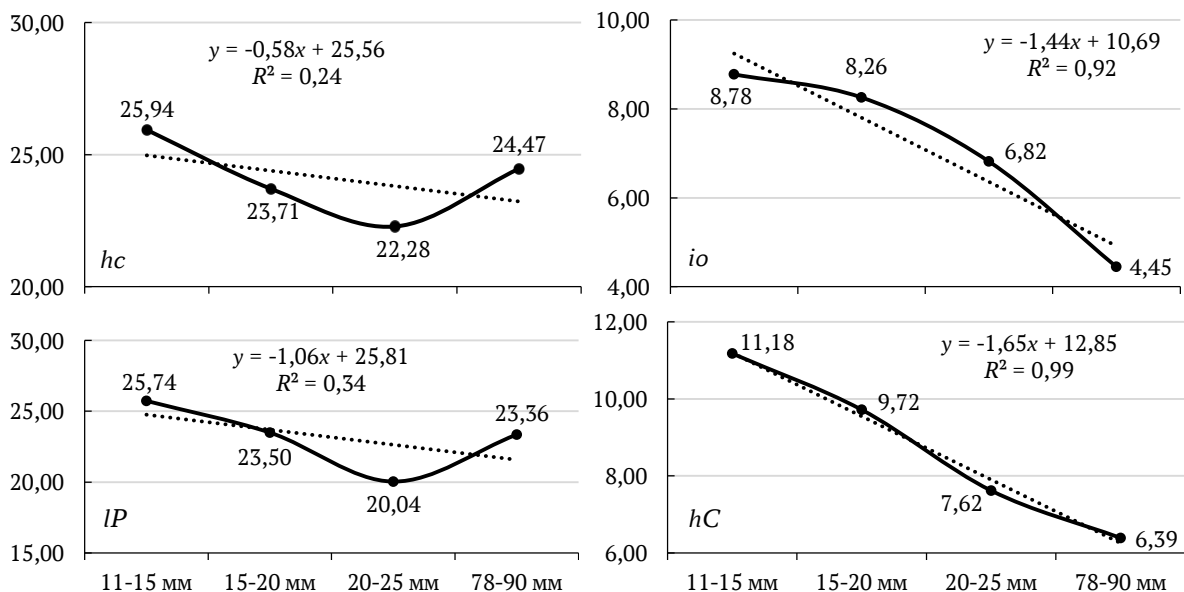


Рис. 7. Изменение пластических признаков седловидного бычка *Microcottus sellaris* по мере роста (уменьшающиеся характеристики) в % от длины тела: Обозначения как на рис. 3. По вертикали: процентное соотношение. По горизонтали: размерные группы. Показаны уравнение линии тренда (y) и коэффициент детерминации (R^2)

Fig. 7. Changes in the plastic features of the brightbelly sculpin *Microcottus sellaris* with growth (decreasing characteristics) as a percentage of body length. Designation as in fig. 3. Vertical: percentage. Horizontal: size groups. The trend line equation (y) and the coefficient of determination (R^2) are shown

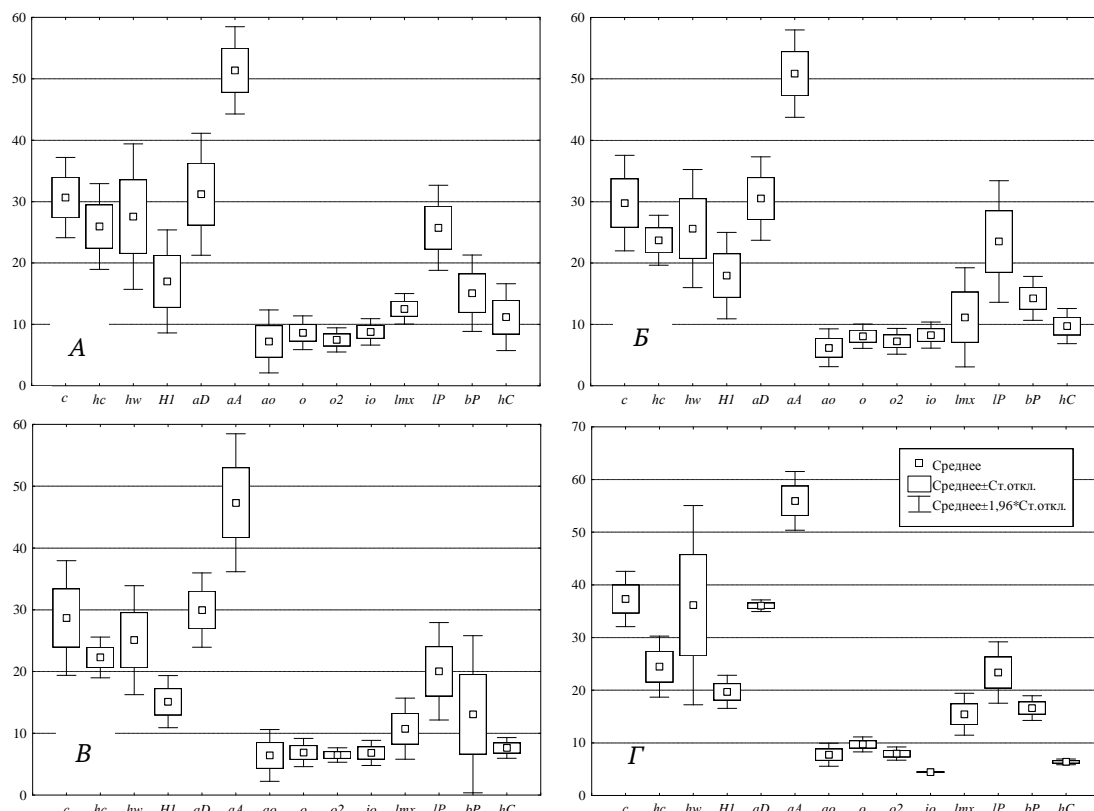


Рис. 8. Диаграммы изменения размаха пластических признаков ювенильных экземпляров седловидного бычка *Microcottus sellaris* по мере роста по размерным группам: А – 11,0–15,0 мм, Б – 15,1–20,0 мм, В – 20,1–25,0 мм, Г – 90,0–140,0 мм. По горизонтали: признаки. По вертикали: величины размаха признаков (% от SL). Обозначения признаков как на рис. 3

Fig. 8. Diagrams of changes in the range of plastic features of juvenile specimens of the brightbelly sculpin *Microcottus sellaris* as they grow by size groups: А – 11.0–15.0 mm, Б – 15.1–20.0 mm, В – 20.1–25.0 mm, Г – 90.0–140.0 mm. Horizontal: traits. Vertical: trait range values (% of SL). Features designations as in fig. 3

Межглазничное расстояние небольшое, по мере роста длина его относительно длины головы практически не меняется, но у взрослых экземпляров размах данных очень маленький. Длина верхней челюсти по мере роста немного увеличивается относительно длины тела, но у взрослых относительно уменьшается. Длина лучей и основания грудного плавника относительно длины тела изменяются незначительно. Высота хвостового стебля относительно длины тела по мере роста немного уменьшается. У взрослых особей разброс данных этого показателя очень маленький.

По мере роста наблюдается изменение пигментации седловидного бычка (рис. 9). Узор пигментации был характерным для личинок и мальков керчаков (род *Myoxocephalus*): интенсивный пигмент на голове и спине, хорошо заметный ряд нижнехвостовых мелких меланофоров, меланфоры на кишечнике в виде наклонных звездочек. У личинок пигмент образует широкий пояс на хвостовой части тела. Задний уча-

сток хвоста без пигмента. По мере развития интенсивность пигментации усиливалась. Взрослые экземпляры имели характерную пигментацию, сходную с имеющимися описаниями [Неелов, 1976; Линдберг, Красюкова, 1987]. Характерна окраска: через верхние $2/3$ туловища проходят три широкие темные полосы, разделенные друг от друга более узкими светлыми полосами. Из них первая светлая полоса проходит через основание последнего луча первого спинного плавника и первых 2–3 лучей второго спинного. У самок темные полосы на теле обычно сплошные, постепенно светлеющие книзу; у самцов ниже боковой линии, а иногда и выше нее они переходят в пятнистый рисунок. Первый спинной плавник самцов выше, чем у самок, и ярче окрашен. У самок он обычно светлый, почти однотонный; у самцов темный, между лучами (после третьего) у основания по овальному светлому пятну. Анальный плавник светлый, у самцов между дистальными концами лучей по небольшому темному пятну.



Рис. 9. Изменение пигментации седловидного бычка *Microcottus sellaris* по мере роста. Длина тела ювенильных экземпляров (SL): А – 11,0 мм, Б – 15,5 мм, В – 19,5 мм, Г – 25,0 мм

Fig. 9. Changes in pigmentation of the brightbelly sculpin *Microcottus sellaris* as it grows. Body length of juvenile specimens (SL): А – 11.0 mm, Б – 15.5 mm, В – 19.5 mm, Г – 25.0 mm

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показывает, что седловидный бычок имеет широкое распространение в литоральной зоне прикамчатских и смежных вод. Личинки и молодь развиваются в узкой прибрежной зоне, переносят опреснение, встречаются в приливных лужах песчаного и каменистого побережья и в эстуариях рек. Ведут придонно-пелагический образ жизни, активно двигаются или скрываются под камнями.

Личинки длиной 11,0 мм имеют бледную общую пигментацию, интенсивность которой с возрастом усиливается. Для личинок и молоди характерно наличие широкого пигментного пояса в задней части тела и отсутствие пигмента на хвостовом стебле. Узор пигментации молоди седловидного бычка близок к пигментации ранних стадий развития керчаковых рыб, что говорит о филогенетической близости родов *Microcottus* и *Myoxocephalus*. У ювенильных экземпляров начиная с длины тела 11,0 мм уже выражены меристические признаки, которые были в основном в пределах, указанных в литературе [Неелов, 1976; Линдберг, Красюкова, 1987].

Описательная статистика пластических признаков личинок и мальков седловидного бычка показывает, что степень разброса или рассеивания значений в наборе данных относительно их среднего значения (стандартное отклонение) уменьшается при развитии, что может быть связано с возможностью более точного измерения более крупных особей.

Значения большинства признаков ювенильных особей в процессе развития незначительно уменьшаются, показывая небольшое увеличение прогонистости тела. Затем, после завершения малькового периода, наоборот, происходит увеличение значений этих показателей, что свидетель-

ствует о приобретении характерной для седловидного бычка формы тела: более высокой в передней части и резко суживающейся к хвосту, с большой головой.

Анализ изменений пластических признаков седловидного бычка показал, что по мере роста увеличиваются длина, ширина и высота головы, антедорсальная и антеанальная длины, длина рыла, длина верхней челюсти, горизонтальный и вертикальный диаметры глаза, длина основания грудного плавника. Наиболее заметным изменениям подвержены длина и ширина головы и антедорсальная длина тела. Такие признаки, как высота головы, межглазничное расстояние, длина наибольших лучей грудного плавника и высота хвостового стебля по мере роста седловидного бычка уменьшаются относительно длины тела, что также показывает превращение формы тела из прогонистой в бычкообразную по мере роста. Наиболее значительно уменьшаются межглазничное расстояние и высота хвостового стебля. Размах значений различных пластических признаков при развитии изменялся незначительно. В целом размах значений этих показателей был меньше у взрослых особей. Изменение значений пластических признаков показывает превращение формы тела седловидного бычка из прогонистой на ранних стадиях развития в характерную бычкообразную, с большой головой и сужающуюся к хвосту, у взрослых особей.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания КФ ТИГ ДВО РАН по теме «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). Тема 2 «Исследование и сохранение уникального морского биоразнообразия Камчатки» (№ ЕГИСУ 124093000049-8).

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Комиссия по биоэтике Камчатского филиала ТИГ ДВО РАН, созданная 20.11.2023 г. приказом директора Камчатского филиала ТИГ ДВО РАН № 39-ОД, подтверждает, что авторами были соблюдены все международные, национальные и/или институциональные принципы использования животных (№ 01–22.11.2023).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

- Андряшев А.П. 1954. Рыбы северных морей СССР. Москва; Ленинград: Издательство Академии наук СССР. 556 с.
- Виноградов К.А. 1946. Фауна прикамчатских вод Тихого океана. *Диссертация ... д-ра биол. наук*. Ленинград. 783 с.
- Воскобойникова О.С., Назаркин М.В., Голубова Е.Ю. 2012. Ранние стадии развития рыб северной части Охотского моря. В серии: *Исследования фауны морей*. Т. 68 (76). Санкт-Петербург: ЗИН РАН. 108 с.
- Кусакин О.Г., Иванова М.Б., Цурпало А.П. 1997. Список видов животных, растений и грибов литорали дальневосточных морей России. Владивосток: Дальнаука. 168 с.
- Линдберг Г.У., Красюкова З.В. 1987. Рыбы Японского моря и сопредельных частей Охотского и Жёлтого морей. Ленинград: Издательство Академии наук СССР (Изд-во «Наука»). Часть 5. 527с.
- Максименков В.В. 1996. Питание молоди седловидного бычка *Microcottus sellaris* в эстуариях рек Карагинского залива Берингова моря. *Вопросы ихтиологии*. Т. 36. № 1. С. 138–140.
- Морева И.Н. 2020. Кариотип седловидного бычка *Microcottus sellaris* (Gilbert, 1896) (Cottidae: Muohosephalinae). *Биология моря*. Т. 46. № 1. Стр. 32–36.
- Неелов А.В. 1976. Обзор бахромчатых бычков рода *Porocottus* Gill и близких к нему родов (Cottidae, Muohosephalinae). В кн.: Зоогеография и систематика рыб. Ленинград: Наука. С. 78–111.
- Неелов А.В. 1979. Сейсмосенсорная система и классификация керчаковых рыб (Cottidae: Muohosephalinae, Artedielinae). Ленинград: Наука. 208 с.
- Парин Н.В., Евсеенко С.А., Васильева Е.Д. 2014. Рыбы морей России: аннотированный каталог. Москва: Товарищество научных изданий КМК. 733 с.
- Пинчук В.И. 1976а. Ихтиофауна литорали Курильских островов. *Биология моря*. № 2. С. 49–55.
- Пинчук В.И. 1976б. Ихтиофауна литорали Командорских островов. *Биология моря*. № 5. С. 28–37.
- Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). Москва: Пищевая промышленность. 376 с.
- Соколовский А.С., Дударев В.А., Соколовская Т.Г., Соломатов С.Ф. 2007. Рыбы российских вод Японского моря: аннотированный и иллюстрированный каталог. Владивосток: Дальнаука. 199 с.
- Соколовский А.С., Соколовская Т.Г., Яковлев Ю.М. 2011. Рыбы залива Петра Великого. Владивосток: Дальнаука. 431 с.
- Солдатов В.К., Линдберг Г.У. 1930. Обзор рыб дальневосточных морей. *Известия*

- Тихоокеанского института рыбного хозяйства и океанографии*. Т. 5. Р. 1–576.
- Таранец А.Я. 1937. Краткий определитель рыб советского Дальнего Востока и прилежащих вод. Владивосток. 200 с.
- Токранов А.М. 1981. Распределение керчаковых (Cottidae, Pisces) на западно-камчатском шельфе в летний период. *Зоологический журнал*. Т. 60. Вып. 2. С. 229–237.
- Токранов А.М. 2013. Особенности распределения и размерные показатели четырех малоизученных видов рогатковых рыб (Cottidae) в прикамчатских водах Охотского моря. *Вопросы ихтиологии*. Т. 53. № 4. С. 430–441.
- Токранов А.М. 2024. Современный состав сообщества рыб галечно-валунных участков приливно-отливной зоны Авачинского залива (Юго-Восточная Камчатка). *Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН*. № 3. С. 64–73. DOI: 10.34078/1814-0998-2024-3-64-73.
- Токранов А.М., Шейко Б.А. 2015. Современный состав ихтиофауны Авачинской губы (Юго-Восточная Камчатка). *Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана*. Вып. 36. С. 48–54. DOI: 10.15853/2072-8212.2015.36.48-54.
- Федоров В.В., Черешнев И.А., Назаркин М.В. и др. 2003. Каталог морских и пресноводных рыб северной части Охотского моря. Владивосток: Дальнаука. 204 с.
- Черешнев И.А., Волобуев В.В., Хованский И.Е., Шестаков А.В. 2001. Прибрежные рыбы северной части Охотского моря. Владивосток: Дальнаука. 197 с.
- Шейко Б.А., Федоров В.В. 2000. Класс Cephalaspidomorphi – Миноги. Класс Chondrichthyes – Хрящевые рыбы. Класс Holocephali – Цельноголовые. Класс Osteichthyes – Костные рыбы. В кн. Каталог позвоночных животных Камчатки и сопредельных морских акваторий. Петропавловск-Камчатский: Камчатский печатный двор. С. 7–69.
- Шмидт П.Ю. 1950. Рыбы Охотского моря. Москва; Ленинград: Издательство АН СССР. 370 с.
- Fricke R., Eschmeyer W.N., van der Laan R. (eds.) 2018. Eschmeyer's catalog of fishes: Genera, species, references. (<http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>) (accessed: 05.09.2025).
- Matarese A.C., Kendall A.W., Blood D.M., Vinter B.M. 1989. Laboratory guide to early life history stages of Northeast Pacific fishes. *NOAA Technical Report NMFS 80*. 652 p.
- Masuda H., Amaoka K., Araga C. et al. 1984. The fishes of the Japanese Archipelago. Vol. 1. Tokai University Press, Tokyo, Japan. 437 p.
- Mecklenburg C.W., Mecklenburg T.A., Thorsteinson L.K. 2002. Fishes of Alaska. Bethesda, Md.: American Fisheries Society. 1037 p.
- Mecklenburg C.W., Mecklenburg T.A., Sheiko B.A., Steinke D. 2016. Pacific Arctic Marine Fishes. CAFF Monitoring Series Report № 23. Akureyri, Iceland: Conservation of Arctic Flora and Fauna. 406 p.
- Robins C.R., Bailey R.M., Bond C.E. et al. 1991. Common and scientific names of fishes from the United States and Canada. *American Fisheries Society*. Special Publication. № 20. 183 p.
- Yabe M. 1983. Cottidae. In: K. Amaoka, K. Nakaya, H. Araya and T. Yasui (Eds). Fishes from the North-eastern Sea of Japan and the Okhotsk Sea off Hokkaido. The intensive research of unexploited

- fishery resources on continental slopes. Japan Fisheries Resource Conservation Association, Tokyo. P. 282–285 (in Japanese and English).
- Yabe M., Pietsch T.W. 2003. A new sculpin, *Microcottus matuaensis*, from the central Kuril Archipelago (Scorpaeniformes: Cottidae). *Ichthyological Research*. Vol. 50. № 3. P. 276–280.
- Washington B.B., Eschmeyer W.N., Howe K.M. 1984. Scorpaeniformes: Relationships. In: Moser H.G. et al. (eds.). Ontogeny and systematics of fishes. Spec. Publ. 1. Am. Soc. Ichthyol. Herpetol. Allen Press, Lawrence, KS. P. 438–447.
- ### REFERENCES
- Andriyashev A.P. 1954. Fishes of the Northern Seas of the USSR. Moscow-Leningrad: Publishing house of AS of USSR. 566 p. (in Russian).
- Vinogradov K.A. 1946. Fauna of near Kamchatka waters of Pacific Ocean. *Doctoral dissertation for biological sciences*. Leningrad. 783 p. (in Russian).
- Voskoboinikova O.S., Nazarkin M.V., Golubova E.Yu. 2012. Earlier stages of fishes from the northern part of the Okhotsk Sea. In ser.: Explorations of the fauna of the Seas. Vol. 68(76). St. Petersburg: Zoological Institute RAN. 108 p. (in Russian).
- Kusakin O.G., Ivanova M.B., Tsurpalo A.P. 1997. Check-list of species of animals, plants and fungi of intertidal zone of Far Eastern Seas of Russia. Vladivostok: Dalnauka. 168 p. (in Russian).
- Lindberg G.W., Krasnyukova Z.V. 1987. Fishes of the Sea of Japan and adjacent parts of the Okhotsk and Yellow Seas. Part 5. Teleostomi. XXX. Scorpaeniformes. Scorpaenidae. Leningrad: Publishing house of AS of USSR. 527 p. (in Russian).
- Maksimenkov V.V. 1996. Feeding of fry of bullhead *Microcottus sellaris* in estuaries of rivers flowing into Karaginskii Bay of the Bering Sea. *Voprosy Ichthyology (Journal of Ichthyology)*. Vol. 36. № 1. P. 132–134 (in Russian).
- Moreva I.N. 2020. The Karyotype of the Brightbelly Sculpin *Microcottus sellaris* (Gilbert, 1896) (Cottidae: Myoxocephalinae). *Biologiya morya (Russian Journal of Marine Biology)*. Vol. 46. № 1. P. 32–36 (in Russian).
- Neelov A.V. 1976. Review of fringed gobies of the genus *Porocottus* Gill and related genera (Cottidae, Myoxocephalinae). In: Zoogeography and systematics of fishes. Leningrad: Nauka Publ. P. 78–111 (in Russian).
- Neelov A.V. 1979. Seismosensory system and classification of sculpin fishes (Cottidae: Myoxocephalinae, Artediellinae). Leningrad: Nauka Publ. 208 p. (in Russian).
- Parin N.V., Evseenko S.A., Vasil'eva E.D. 2014. Fish of the Russian Seas: An Annotated Catalogue. Moscow: KMK Publ. (in Russian).
- Pinchuk V.I. 1976a. Ichthyofauna of the intertidal zone of Kuril Islands. *Biologiya morya (Russian Journal of Marine Biology)*. № 2. P. 49–55 (in Russian).
- Pinchuk V.I. 1976b. Ichthyofauna of the intertidal zone of Commander Islands. *Biologiya morya (Russian Journal of Marine Biology)*. № 5. P. 28–37 (in Russian).
- Pravdin I.F. 1966. Guide to the study of fish (mainly freshwater). Moscow: Food industry Publ. 376 p. (in Russian).
- Sokolovskii A.S., Dudarev V.A., Sokolovskaya T.G., Solomatov S.F. 2007. Fishes of the Russian Waters of the Sea of Japan: An Annotated and Illustrated Catalogue. Vladivostok: Dal'nauka Publ. 199 p. (in Russian).
- Sokolovsky A.S., Sokolovskaya T.G., Yakovlev Yu.M. 2011. Fishes of the Peter the

- Great Bay. Vladivostok: Dalnauka. 431 p. (in Russian).
- Soldatov V.K., Lindberg G.U. 1930. A review of the fishes of the seas of the Far East. *Izvestiia Tikhookeanskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta rybnogo khoziaistva i okeanografii (Proceedings of the Pacific Research Institute of Fisheries and Oceanography)*. Vol. 5. P. 1–576 (in Russian).
- Taranets A.Ya. 1937. Brief identification guide to fish of the Soviet Far East and adjacent waters. Vladivostok. 200 p. (in Russian).
- Tokranov A.M. 1981. Distribution of sculpins (Cottidae, Pisces) on the Western Kamchatka Shelf in Summer. *Zoologicheskij zhurnal (Russian Journal of Zoology)*. Vol. 60. Iss. 2. P. 229–237 (in Russian).
- Tokranov A.M. 2013. Distribution Features and Size Parameters of Four Poorly Studied Species of Sculpins (Cottidae) in the Kamchatka Waters of the Sea of Okhotsk. *Voprosy Ichthyology (Journal of Ichthyology)*. Vol. 53. Iss. 4. P. 430–441 (in Russian).
- Tokranov A.M. 2024. Modern composition of the fish community in pebble-boulder areas of the intertidal zone of Avacha Bay (Southeastern Kamchatka). *Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo tsentra DVO RAN (Bulletin of the North-Eastern Scientific Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences)*. № 3. P. 64–73. DOI: 10.34078/1814-0998-2024-3-64-73 (in Russian).
- Tokranov A.M., Sheiko B.A. 2015. Current composition of the Ichthyofauna of Avacha Bay (Southeast Kamchatka). *Issledovaniia vodnykh biologicheskikh resursov Kamchatki i severo-zapadnoj chasti Tihogo okeana (The Researches of The Aquatic Biological Resources of Kamchatka and the North West Part of the Pacific Ocean)*. Iss. 36. P. 48–54. DOI: 10.15853/2072-8212.2015.36.48–54 (in Russian).
- Fedorov V.V., Chereshev I.A., Nazarkin M.V. et al. 2003. Catalog of marine and freshwater fish of the northern part of the Sea of Okhotsk. Vladivostok: Dalnauka Publ. 204 p. (in Russian).
- Chereshev I.A., Volobuev V.V., Khovansky I.E., Shestakov A.V. 2001. Coastal fishes of the northern part of the Sea of Okhotsk. Vladivostok: Dalnauka Publ. 197 p. (in Russian).
- Sheiko B.A., Fedorov V.V. 2000. Class Cephalaspidomorphi – Lampreys. Class Chondrichthyes – Cartilaginous fishes. Class Holocephali – Holocephali. Class Osteichthyes – Bony fishes. In: Catalogue of vertebrate animals of Kamchatka and adjacent marine areas. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatka Printing House. P. 7–69 (in Russian).
- Schmidt P.Yu. 1950. Fishes of the Sea of Okhotsk. Moscow; Leningrad: Academy of Sciences of the USSR Publ. 370 p. (in Russian).
- Fricke R., Eschmeyer W.N., van der Laan R. (eds.) 2018. Eschmeyer's catalog of fishes: Genera, species, references. (<http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>) (accessed: 05.09.2025).
- Matarese A.C., Kendall A.W., Blood D.M., Vinter B.M. 1989. Laboratory guide to early life history stages of Northeast Pacific fishes. *NOAA Technical Report. NMFS 80*. 652 p.
- Masuda H., Amaoka K., Araga C., T. et al. 1984. The fishes of the Japanese Archipelago. Vol. 1. Tokai University Press, Tokyo, Japan. 437 p.
- Mecklenburg C.W., Mecklenburg T.A., Thorsteinson L.K. 2002. Fishes of Alaska. Bethesda, Md.: American Fisheries Society 1037 p.
- Mecklenburg C.W., Mecklenburg T.A., Sheiko B.A., Steinke D. 2016. Pacific Arctic

- Marine Fishes. *CAFF Monitoring Series*. Report №. 23. Akureyri, Iceland: Conservation of Arctic Flora and Fauna. 406 p.
- Robins C.R., Bailey R.M., Bond C.E. et al. 1991. Common and scientific names of fishes from the United States and Canada. *American Fisheries Society*. Special Publication. № 20. 183 p.
- Yabe M. 1983. Cottidae. In: K. Amaoka, K. Nakaya, H. Araya and T. Yasui (Eds). Fishes from the North-eastern Sea of Japan and the Okhotsk Sea off Hokkaido. The intensive research of unexploited fishery resources on continental slopes. Japan Fisheries Resource Conservation Association, Tokyo. P. 282–285 (in Japanese and English).
- Yabe M., Pietsch T.W. 2003. A new sculpin, *Microcottus matuaensis*, from the central Kuril Archipelago (Scorpaeniformes: Cottidae). *Ichthyological Research*. Vol. 50. № 3. P. 276–280.
- Washington B.B., Eschmeyer W.N., Howe K.M. 1984. Scorpaeniformes: Relationships. In: Moser H.G. et al. (eds.). Ontogeny and systematics of fishes. Spec. Publ. 1. Am. Soc. Ichthyol. Herpetol. Allen Press, Lawrence, KS. P. 438–447.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Григорьев Сергей Сергеевич – Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН; 683000, Россия, Петропавловск-Камчатский; кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории гидробиологии; sgri@inbox.ru. SPIN-код: 3010-8053, Author ID: 976830; Scopus ID: 56258333100; Researcher ID: KVB-9105-2024; ORCID: 0000-0002-4250-9548.

Grigorev Sergey Sergeevich – Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute FEB RAS; 683000, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Candidate of Biological Sciences, Docent, Senior Researcher of Hydrobiology Laboratory; sgri@inbox.ru. SPIN-code: 3010-8053, Author ID: 976830; Scopus ID: 56258333100; Researcher ID: KVB-9105-2024; ORCID: 0000-0002-4250-9548.

Седова Нина Анатольевна – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры водных биоресурсов, рыболовства и аквакультуры; Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН; 683000, Россия, Петропавловск-Камчатский; ведущий научный сотрудник лаборатории гидробиологии; sedova67@bk.ru. SPIN-код: 5638-3959, Author ID: 664456; Scopus ID: 7003300397; Researcher ID: ABH-5014-2020; ORCID: 0000-0002-0137-9628.

Sedova Nina Anatolievna – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Doctor of Biological Sciences, Docent, Professor of Water Bioresources, Fishery and Aquaculture Chair; Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute FEB RAS; 683000, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Leading Researcher of Hydrobiology Laboratory; sedova67@bk.ru. SPIN-code: 5638-3959, Author ID: 664456; Scopus ID: 7003300397; Researcher ID: ABH-5014-2020; ORCID: 0000-0002-0137-9628.

Статья поступила в редакцию 12.09.2025; одобрена после рецензирования 10.11.2025; статья принята к публикации 18.12.2025.

The article was submitted 12.09.2025; approved after reviewing 10.11.2025; accepted for publication 18.12.2025.

Для цитирования: Григорьев С.С., Седова Н.А. 2025. Морфологическая характеристика личинок и мальков седловидного бычка *Microcottus sellaris* (Cottidae) из прибрежных вод Камчатки и западной части Берингова моря. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. Вып. 74. С. 97–115. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2025-74-97-115>.

For citation: Grigorev S.S., Sedova N.A. 2025. Morphological characteristics of larvae and fry of the brightbelly sculpin *Microcottus sellaris* (Cottidae) from the coastal waters of Kamchatka and the western Bering Sea. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. Iss. 74. P. 97–115 (in Russian). <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2025-74-97-115>.

Научная статья

УДК [556.388:628.4](470.26)

DOI: 10.17217/2079-0333-2025-74-116-126

**ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ВОД
ПОЛИГОНА ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ Г. КАЛИНИНГРАДА**

Василискова А.В., Кондратенко С.В.

Калининградский государственный технический университет, Калининград, Советский пр-кт, 1.

В статье представлены результаты качественного и количественного анализа фильтрационных вод полигона твердых коммунальных отходов г. Калининграда. Данный полигон, расположенный вблизи водных объектов и эксплуатировавшийся со второй половины XX века без учета соблюдения экологических требований, вероятно, оказывал негативное воздействие на окружающую природную среду. Авторы настоящей статьи провели оценку характера негативного воздействия фильтрата с полигона г. Калининграда посредством применения специализированных индексов. Также был спрогнозирован временной период, по окончании которого полигон г. Калининграда будет считаться неопасным, а фильтрационные воды – условно чистыми. Проведенное исследование является частью мониторинга влияния фильтрационных вод полигона твердых коммунальных отходов на водные экосистемы.

Ключевые слова: загрязнение окружающей среды, полигоны захоронения отходов, твердые коммунальные отходы, техногенное загрязнение, фильтрат.

Original article

**VARIABILITY OF LEACHATE CHEMICAL INDICATORS
FROM KALININGRAD MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILL**

Vasiliskova A.V., Kondratenko S.V.

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Sovetsky Ave. 1.

In this paper we present results of qualitative and quantitative analysis of leachate from a municipal solid waste landfill in Kaliningrad. This landfill, located near water bodies and operated since the second half of the 20th century without taking into account compliance with environmental requirements, might have provided a negative impact on the environment. We assessed the nature of the negative impact of leachate from the Kaliningrad landfill by using specialized indices. Also, we predicted a time period, after which the Kaliningrad landfill would be considered non-hazardous and the leachate would be conditionally clean. Our research is a part of the monitoring of the effect of leachate from municipal solid waste landfill on aquatic ecosystems.

Key words: environmental pollution, landfill sites, municipal solid waste, man-made pollution, leachate.

ВВЕДЕНИЕ

Полигонная технология является наиболее распространенным методом обращения с отходами в России. Полигоны являются источниками негативного воздействия на окружающую среду и становятся причиной отчуждения пригодных для использования земель [Пушная и др., 2012]. Основными опасными факторами воздействия являются выделяющийся из мусора свалочный газ (биогаз) и фильтрат, т. е. конечный продукт взаимодействия проходящих через тело полигона природных осадков, которые смешиваются с влагой от отходов и жидкостью, образующейся в процессе их разложения. Фильтрат содержит продукты выщелачивания водорастворимых соединений и разложения отходов. Существует три способа минимизации объема выделяющихся с фильтратом загрязняющих веществ, включая снижение его объема, сбор и обработку, а также уплотнение отходов или их предварительную обработку.

Снизить образование фильтрата и его влияние на окружающую среду возможно также за счет грамотного выбора мест размещения полигонов. Так, присутствие в геологическом разрезе природных барьеров в виде мощных глинистых толщ в месте размещения полигона позволяет минимизировать влияние фильтрата на окружающую среду [Козлякова и др., 2021].

Состав фильтрата зависит от сроков эксплуатации полигона, типа складированных отходов и объема поступления поверхностных и грунтовых вод в его тело (рис. 1). Для оценки загрязнения проводится анализ органических веществ (ХПК, БПК, ООУ), азота (главным образом аммонийного) и тяжелых металлов в составе фильтрата. Когда отходы подвергаются различным стадиям биодеструкции, изменяется и сам его состав. Также состав из-

меняется в зависимости от возраста полигона. В жизненном цикле полигона твердых бытовых отходов (ТКО) выделяют пять основных стадий [Шамсиева и др., 2015; Галицкая и др., 2007], включающих аэробную (до 1 года), анаэробную (1–3 года), ацетогенез (3–10 лет), метаногенез (10–30 лет) и ассимиляцию (30–100 лет).

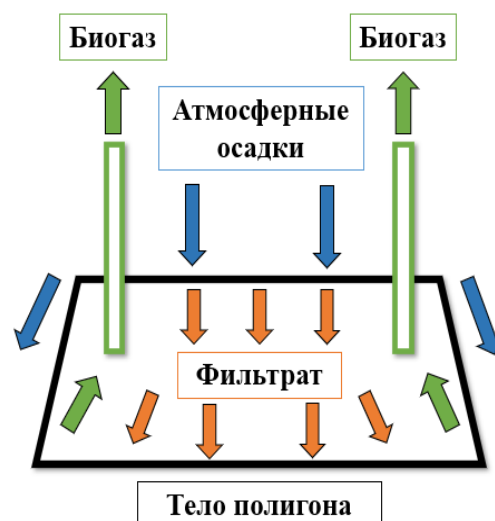


Рис. 1. Схема процессов, протекающих в теле полигона

Fig. 1. Schematic diagram of processes, which occur in the landfill

По официальным данным, калининградский полигон эксплуатировался с конца 70-х годов XX в., по неофициальным – сразу по окончании ВОВ как находящаяся в черте города городская свалка. В период с 2016 по 2019 гг. завершили работы по его рекультивации. Отметим, что за указанные три года в регионе выпало много осадков, и тело полигона напиталось избыточной влагой. После рекультивации под давлением проседающих свалочных масс часть фильтрата поступала в окружающую природную среду (рис. 2). Проектом рекультивации в теле полигона была предусмотрена дренажная система для сбора фильтрата в накопительную емкость, из

которой он должен был откачиваться и направляться в специализированные очистные сооружения. Однако в методической литературе по проектированию полигонов на тот момент отсутствовали количественные показатели возможных объемов образования фильтрата на единицу свалочных масс. Поэтому в самой нижней точке дренажной системы была установлена накопительная емкость 25 м^3 , максимально возможная для условий заболоченного грунта и транспортирования к месту установки. Предполагалось откачивать фильтрат и вывозить его на очистные сооружения 1–5 раз в месяц. Однако по завершении рекультивации полигона фильтрат стал поступать в дренажную систему в отдельные периоды объемом до 200 м^3 в сутки, к чему оказалась технически и финансово не готова управляющая полигоном муниципальная компания. Перелив фильтрата в окружающую среду происходил как через накопительную емкость, так и непосредственно из тела полигона в нескольких местах по периметру его «подошвы» (рис. 2).



Рис. 2. Разлив фильтрата на полигоне г. Калининграда после рекультивации [По: <http://www.newkaliningrad.ru>]

Fig. 2. Filtrate spill at the Kaliningrad landfill after re-cultivation [From: <http://www.newkaliningrad.ru>]

Чтобы остановить поступление фильтрата в окружающую среду, от накопительной емкости был проложен трубопровод

до приемной камеры коллектора городских сооружений ГП КО «Водоканал» (около 800 м). При наполнении емкости насос в автоматическом режиме перекачивал фильтрат в камеру коллектора. Однако надзорные органы признали такие действия незаконными, поскольку проект трубопровода не прошел экологическую экспертизу, а у ГП КО «Водоканал» отсутствовала лицензия на обращение с отходами (свалочный фильтрат в то время относился не к «сточным водам», а к «отходам»). Далее начались многолетние судебные разбирательства и обсуждение дорогостоящего проекта о строительстве специализированных очистных сооружений для свалочного фильтрата.

Вопрос о качественных, количественных и временных характеристиках образования свалочного фильтрата является актуальным не только для калининградского полигона, но для всех рекультивируемых полигонов в России, поскольку сроки эмиссий загрязняющих веществ, в соответствии со стадиями биодеструкции отходов, могут достигать 30 лет.

В ранней работе авторов были проведены исследования фильтрационных вод калининградского полигона ТКО, поскольку его расположение вблизи водных объектов могло оказать негативное влияние на водные экосистемы [Минашкина, Кондратенко, 2021]. В настоящей статье проведен анализ особенностей состава фильтрационных вод в зависимости от фазы биодеструкции отходов и дана оценка изменения их состава в перспективе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Авторы изучили архивные данные исследований фильтрата полигона г. Калининграда за период 2008–2009 гг., данные инженерно-экологических изысканий ООО «ТехноТерра». Также были изучены собственные

пробы фильтрата полигона г. Калининграда, собранные в период 2019–2022 гг. На рисунке 3 представлены карта-схема полигона, с которого отбирался фильтрат, а также расположение водных объектов вблизи него.

Авторы произвели расчет общего объема фильтрата, образовавшегося на калининградском полигоне, так как риск загрязнения поверхностных водных объектов может определяться количественным показателем. Оценка качества фильтрата для полигона г. Калининграда проводилась по соотношению химического потребления кислорода/биологического потребления кислорода за пять дней (ХПК/БПК₅). Установленная Постановлением Правительства РФ от 29.07.2013 г. № 644 норма соотношения ХПК/БПК₅ должна быть не более 2,5. Сам по себе этот показатель превышенным оказывается редко, чаще всего он повышен, если фильтрационные воды чрезмерно загрязнены, и из-за этого превышены другие нормы.

Для комплексного критерия качественной оценки загрязнения был применен индекс загрязненности фильтрата (ИЗФ). Для построения дальнейшего прогноза и определения вероятных значений ИЗФ в будущем был использован метод статистического анализа колебаний динамического ряда его изменения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основные характеристики фильтрата в течение кислого анаэробного и метаногенного анаэробного разложения представлены в таблице 1.

На стадии кислого анаэробного разложения фильтрат характеризуется высокой концентрацией летучих жирных кислот, кислотной областью рН, высоким БПК, высоким соотношением ХПК/БПК, высоким содержанием NH_4 и органического N. В последующей стадии метаногенного анаэробного разложения фильтрат, наоборот, характеризуется низкими концентрациями и низким соотношением веществ. Отношение $\text{ХПК}/\text{БПК}_5$ является индикатором доли органического вещества в фильтрате, которое легко разлагается. Это имеет исключительную важность для его возможной биологической обработки.

В таблице 2 приведены основные значения для образования фильтрата в Швеции [Бартоломей и др., 2004]. Если его объемы значительно больше, чем указано в таблице 2, это может являться следствием проникновения грунтовых или поверхностных вод. Значительно меньшие объемы образующего фильтрата могут быть результатом его удержания в отходах или утечек.

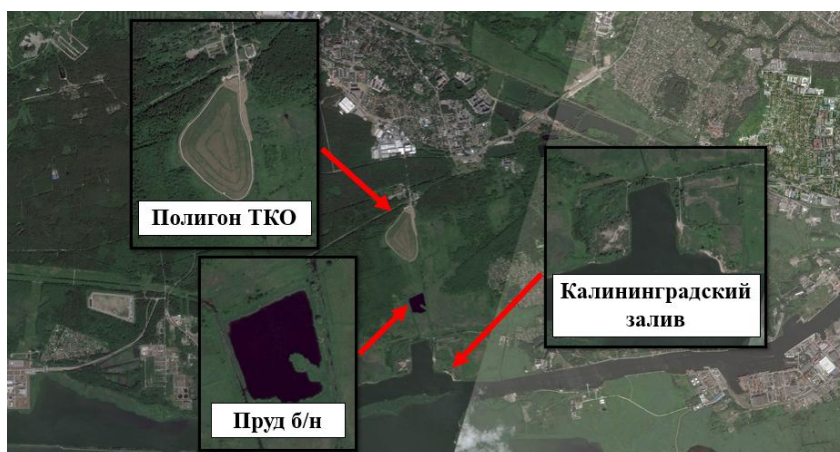


Рис. 3. Карта-схема расположения Калининградского полигона и водных объектов

Fig. 3. Map-layout of the Kaliningrad landfill and proximate water bodies

Таблица 1. Средние значения характеристик фильтрата полигона (все концентрации указаны в мг/дм³, кроме показателя pH) [Полигонные..., 1997]

Table 1. Average values of landfill leachate characteristics (all concentrations are indicated in mg/dm³, except pH) [Landfills..., 1997]

Показатели	Кислая анаэробная стадия (диапазон концентраций)	Среднее значение вне зависимости от фазы	Метаногенная стадия (диапазон концентраций)
pH	4,5–7,5 (6,1)		7,5–9,0 (8,0)
БПК ₅	4 000–40 000 (13 000)		20–550 (180)
ХПК	6 000–60 000 (22 000)		500–4 500 (3 000)
ХПК/БПК ₅	(0,58)		(0,06)
NH ₄ -N	30–3 000 (750)		50–500 (250)
N- (общ.)		50–50 000 (1250)	
P- (общ.)		0,1–30 (60)	
SO ₄	70–1 750 (500)		10–420 (80)
Ca	10–2 500 (1 200)		20–600 (60)
Mg	50–1 150 (470)		40–350 (180)
Fe	20–2 100 (780)		3–280 (15)
Mn	0,3–0,65 (25)		0,03–45 (0,7)
Zn	0,1–120 (5)		0,03–4 (0,6)
Cl		100–5 000 (2 100)	
Na		50–4 000 (1 350)	
K		10–2 500 (1 100)	
As		5–1 600 (160)	
Cd		0,5–140 (6)	
Ni		20–2 050 (200)	
Pb		8–1 020 (90)	
Cr		30–1 600 (300)	
Cu		4–1 400 (80)	
NO ₃		0,1–50 (3)	
NO ₂		0–25 (0,5)	
CO ₂		0,5–140 (55)	
Hg		0,2–50 (10)	
Фенолы		0,01–15 (0,0052)	
Углеводороды		0,1–200 (1,1)	
Хлорорганические соединения		0,01–0,15 (0,02)	

Таблица 2. Основные значения образования фильтрата в Швеции [Бартоломей и др., 2004]

Table 2. The main values of leachate formation in Sweden [Bartholomew et al., 2004]

	Объем фильтрата (м ³ /га в год)
Средний годовой поток: незаполненный полигон	3 000
Средний годовой поток: заполненный полигон с растительностью	2 000
Ежемесячный поток (с определенными годовыми вариациями)	0–1 000

Объем образующего фильтрата может быть ограничен изоляционным покрытием и уплотнением верхней поверхности полигона, а также посадкой растительности на прилегающих площадях. Поступающие поверхностные воды должны быть отведе-

ны с помощью внешней запруды. Проникновение грунтовых вод можно ограничить путем установки вертикальных барьеров вокруг участка полигона.

Содержание загрязняющих веществ в фильтрате полигона можно спрогнозиро-

вать на основании данных архивных литературных источников и данных анализов сточных вод. При качественно-количественной оценке фильтрата полигона необходимо учитывать следующее:

- количество образующегося фильтрата более чем на 98% определяется количеством выпадающих на территории полигона атмосферных осадков;

- концентрация в фильтрате загрязняющих веществ определяется продолжительностью контакта инфильтрата с отходами. При свободной (без подпора) инфильтрации атмосферной и отжимной влаги время контактирования практически не зависит от расходов инфильтрации. Следовательно, концентрация загрязняющих веществ в фильтрате будет примерно одинаковой, независимо от расходов стока. Общий вынос загрязняющих веществ будет изменяться пропорционально количеству выпадающих осадков. Объем фильтрата в теле полигона зависит от объема инфильтрации атмосферных осадков с его поверхности и объема отжимной влаги складываемых отходов. Эти стоки несут подавляющую часть всех загрязнений с площади полигона.

Поскольку провести расчет ежемесячного или ежегодного объема образующегося фильтрата полигона г. Калининграда не представляется возможным по причине его закрытия, была применена формула расчета общего количества фильтрата на основе имеющихся данных.

Согласно [Рекомендации..., 2003; Инструкция..., 1983] суммарная величина количества фильтрата (V), образующегося в теле полигона, определяется по следующей формуле (1):

$$V = \frac{K_p \cdot K_\phi \cdot L \cdot F \cdot T_1}{C_\pi},$$

где K_p – коэффициент влагопоглощающей и испарительной способности отходов, зависящий от рельефа территории складирования. Для равнинных участков $K_p = 0,01...0,04$, для оврагов $K_p = 0,05-0,08$. Поскольку рассматриваемый объект является равнинным, K_p принят равным 0,025;

K_ϕ – коэффициент фильтрационных свойств основания карты складирования отходов. Принят равным 0,15 (по справочным данным);

L – среднегодовое количество осадков, $\text{м}^3/\text{м}^2$. Слой осадков в г. Калининграде превышает слой испарения, региональная норма стока составляет 815 мм в год (по литературным данным);

F – расчетная площадь приема осадков, площадь распространения отходов. Общая площадь участка захоронения отходов по контуру подошвы составляет 159 375 м^2 . По литературным данным, влажность отходов может колебаться по сезонам;

T_1 – срок эксплуатации полигона, год. Для данного полигона срок эксплуатации составляет 36 лет;

C_π – коэффициент, учитывающий пористость ТКО в основании полигона.

$$C_\pi = (P_1 - P_2) / P_1,$$

где P_1 – 1 050 $\text{кг}/\text{м}^3$ – плотность отходов при давлении 1 500–2 000 кПа, при которой в отходах практически нет водовмещающих пор;

P_2 – фактическая плотность ТКО у основания полигона, $P_2 = 700 \text{ кг}/\text{м}^3$;

$$C_\pi = (1\,050 - 700) / 1\,050 = 0,33.$$

Уровень фильтрата над нижней поверхностью отходов определяют пористостью отходов в основании полигона.

Коэффициент C_π показывает, что в 1 м^3 отходов плотностью 700 $\text{кг}/\text{м}^3$ может содержаться 0,33 м^3 воды.

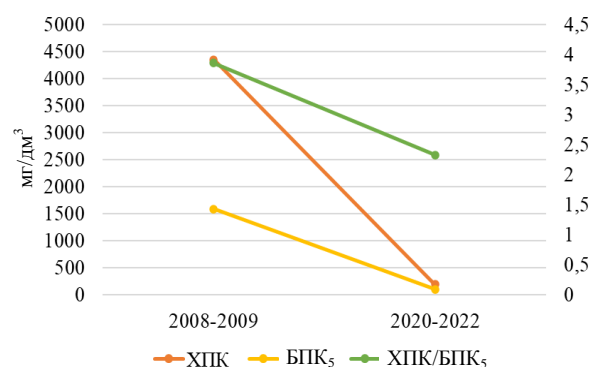
Расчетная формула в конечном виде будет следующей:

$$V = \frac{0,025 \cdot 0,15 \cdot 0,815 \cdot 159\,375 \cdot 36}{0,33} = 53\,137 \text{ м}^3.$$

Таким образом, общий объем фильтрата, образовавшегося в теле полигона г. Калининграда за весь срок эксплуатации, составил 53 137 м³.

Далее был проведен качественный анализ фильтрата, т. е. сравнивалось соотношение концентраций ХПК и БПК₅ в калининградском полигоне на разных этапах эксплуатации. Данные представлены на рисунке 4 (средние и натуральные значения). Для ХПК и БПК₅ значения указаны в мг/дм³, для ХПК/БПК₅ в ед.

В период активной эксплуатации полигона (2008–2009 гг.), когда проходила ацетогенная или кислая фаза, его фильтрат характеризовался высокими значениями ХПК и БПК₅, достигавшими пиковых значений в 7 600 и 4 400 мг/дм³ соответственно. Значение соотношения ХПК/БПК₅ в средних величинах было 3,8 ед.



К 2022 г. уже наступила стадия стабильного метаногенеза, о которой можно судить по максимально низким концентрациям ХПК и БПК₅, средние значения которых достигли 194,5 и 105,65 мг/дм³ соответственно. Минимальное значение соотношения ХПК/БПК₅ в натуральных величинах было достигнуто к маю 2022 г. и составило 1,5 ед.

На локальном уровне в качестве показателя степени загрязненности фильтрата (отдельно взятого объекта складирования ТКО) используется индекс его загрязненности (ИЗФ), определяемый по следующей формуле (2) [Кияшко и др., 2010]:

$$\text{ИЗФ} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i}, \quad (2)$$

где C_i – концентрация i -го показателя состава фильтрата, мг/дм³;

n – число показателей, используемых для расчета ИЗФ;

ПДК _{i} – значение ПДК для воды водных объектов каждого i -го показателя, мг/дм³.

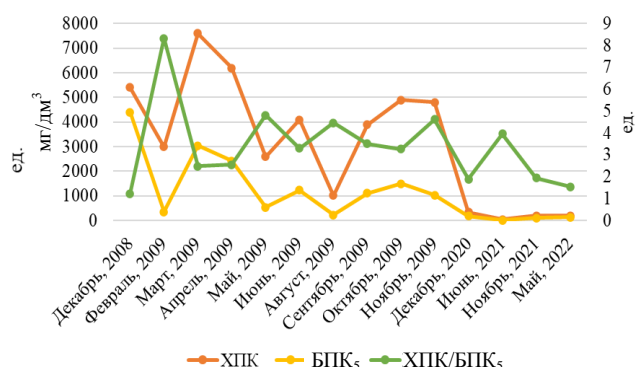


Рис. 4. Соотношение средних концентраций БПК₅ и ХПК на разных этапах биодеструкции в разные годы (изображение слева), а также концентраций в разные месяцы 2008–2009 гг. и 2020–2022 гг. (изображение справа)

Fig. 4. The average ratio of biological oxygen demand (BOD₅) and chemical oxygen demand (COD) concentrations at different stages of biodegradation in different years (image on the left), as well as concentrations per different months in 2008–2009 and 2020–2022 (image on the right)

Для периода 2008–2009 гг. учитывались выявленные приоритетные показатели: азот аммонийный, фосфор общий, железо (общее), БПК₅, ХПК, свинец, медь.

При расчете ИЗФ периода 2019–2022 гг. также учитывались выявленные приоритетные показатели состава фильтрата (азот аммонийный, железо общее, хлориды, БПК₅, ХПК, нефтепродукты, натрий, литий, фенолы).

Классификация полигонов и фильтрата представлены в таблице 3. Для калининградского полигона ИЗФ в период 2008–2009 гг. составил 1 214,95, что соответствует V классу загрязненности (очень грязный), т. е. сам полигон являлся весьма опасным. Для периода 2019–2022 гг. ИЗФ

составил 16,25, что соответствует III классу загрязненности фильтрата (загрязненный), и сам полигон после проведенной рекультивации является малоопасным.

Для построения прогноза и определения вероятных значений ИЗФ в будущем используется метод статистического анализа колебаний динамического ряда ИЗФ на основе данных за 2008–2022 гг. Выравнивание по аналитической формуле в настоящее время является наиболее распространенным способом экстраполяции рядов динамики, который отображает общую тенденцию изменения (рис. 5). Путем построения гистограммы с добавлением линии тренда в программе Excel осуществляется подбор функции.

Таблица 3. Классификация объектов захоронения отходов и фильтрата [Кияшко и др., 2010]

Table 3. Classification of waste and leachate disposal facilities [Kiyashko et al., 2010]

Фильтрат	Значение ИЗФ	Классы загрязненности фильтрата	Объекты захоронения отходов
Условно чистый	Менее 1	I	Неопасные
Умеренно загрязненный	1...10	II	Тревожные
Загрязненный	10...100	III	Малоопасные
Грязный	100...1 000	IV	Опасные
Очень грязный	1 000...10 000	V	Весьма опасные
Чрезвычайно грязный	10 000...100 000	VI	Чрезвычайно опасные
Катастрофически грязный	Свыше 100 000	VII	Катастрофически опасные

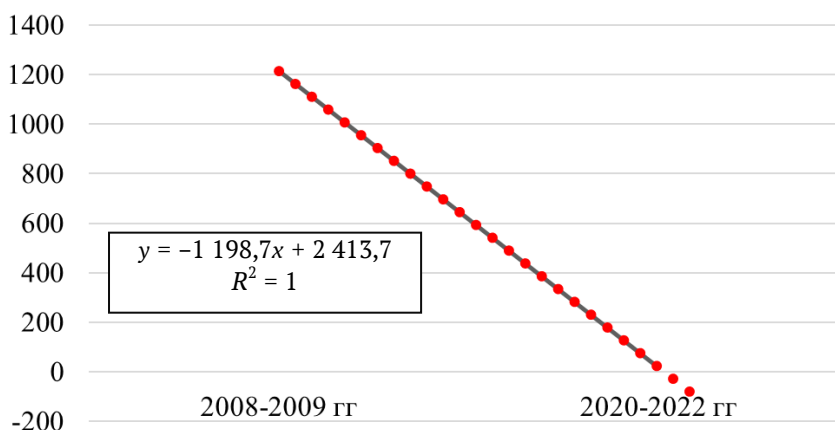


Рис. 5. Расчет изменений значения индекса загрязненности фильтрата (ИЗФ) за период с 2008–2009 гг. по 2020–2022 гг.

Fig. 5. Calculation of changes of the leachate pollution index during 2008–2009 to 2020–2022

Полученная линейная функция $y = -1\,198,7x + 2\,413,7$ описывает линию тренда в пределах представленного динамического ряда, отображающего тенденцию изменения ИЗФ.

Линия тренда и коэффициент детерминации $D = R^2$ (величина достоверности аппроксимации) также отображены на диаграмме для анализа уравнения на достоверность. Если коэффициент детерминации (R^2) больше 0,70, такая функция может быть использована для анализа полученных данных. Если данное условие не выполняется, то необходимо продолжить подбор построения линии тренда при помощи другой функциональной модели [Чилингер, Латин, 2023].

Срок, не превышающий 1/3 базисного периода (рассматриваемый период), считается наиболее точным для прогноза методом экстраполяции [Шалдунова и др., 2015]. В нашем случае для исследования информация по ИЗФ за период с 2008 по 2022 гг. относительно корректный прогноз может быть предоставлен на период не далее 2027 г.

Таким образом, выполненный нами прогноз для изменения ИЗФ до 2027 г. указывает на то, что значение индекса будет снижаться и достигнет значения <1 , т. е. качественный состав фильтрата можно будет относить к I классу загрязненности и принять как условно чистый, а полигон – неопасный. После 2027 г., при условии сохранения установленной динамики, можно будет сделать вывод о стадии ассимиляции – конечной фазе жизненного цикла полигонов. При наступлении данной фазы жизненного цикла территории могут быть возвращены сельскохозяйственное, лесохозяйственное или рекреационное использование.

ЛИТЕРАТУРА

- Бартоломей А.А., Брандл Х., Пономарев А.Б. 2004. Основы проектирования и строительства хранилищ отходов. Учебное пособие. Москва: АСВ. 144 с.
- Галицкая И.В., Путилина В.С., Юганова Т.И. 2007. Поведение органического вещества в фильтрате и подстилающих породах свалки. Влияние на миграцию тяжелых металлов. *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. № 6. С. 483–493.
- Инструкция по проектированию и эксплуатации полигонов для твердых бытовых отходов. 1983. Москва: Стройиздат. 39 с.
- Кияшко И.Ю., Елизарьев А.Н., Фашевская Т.Б. и др. 2010. Разработка методики комплексной оценки загрязненности фильтрационных стоков захоронений отходов. *Вестник Иркутского государственного технического университета*. № 2. Вып. 42. С. 6–11.
- Козлякова И.В., Кожевникова И.А., Еремина О.Н. и др. 2021. Методологические принципы оценки геологической среды для размещения объектов обращения с ТКО. *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. № 1. С. 48–58.
- Минашкина А.В., Кондратенко С.В. 2021. Изменчивость химических показателей фильтрационных вод полигона твердых коммунальных отходов в пос. им. А. Космодемьянского Калининградской области. *Гидрометеорология и экология*. № 64. С. 558–574.
- Полигонные технологии. 1997. (Ред.: В. Хогланд). Москва: Экотехнопром. 87 с.
- Пушная А.А., Уланова О.В., Федотов К.В. 2012. Анализ протекания основных биохимических процессов на полигоне твердых бытовых отходов г. Иркутска.

- Экология и промышленность России*. № 6. С. 53–55.
- Рекомендации по сбору, очистке и отведению сточных вод полигонов захоронения твердых бытовых отходов. 2003. Москва: ФГУП «Федеральный центр благоустройства и обращения с отходами». 49 с.
- Чилингер Л.Н., Латин О.В. 2023. Прогноз востребованности полигонов твердых коммунальных отходов на основе анализа открытых данных ввода в эксплуатацию и объемов вывозки отходов на объекты обращения. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. Т. 334. № 6. С. 47–56.
- Шалдунова Н.П., Денисова Н.С., Кирик Д.А. 2015. Математическая обработка земельно-кадастровой информации. *Учебно-методическое пособие*. Пермь: Пермская ГСХА. 73 с.
- Шамсиева Г.Ш., Найман С.М., Тунакова Ю.А. 2015. Исследование фильтрационных вод Самосыровской свалки города Казани как источника загрязнения природной среды. *Вестник Казанского технологического университета*. № 2. С. 450–453.
- REFERENCES**
- Bartolomey A.A., Brandl H., Ponomarev A.B. 2004. Fundamentals of design and construction of waste storage facilities. *Study guide*. Moscow: Association of Construction Universities Publ. 144 p. (in Russian).
- Galitskaya I.V., Putilina V.S., Yuganova T.I. 2007. Behavior of organic matter in leachate and underlying rocks of a landfill. Influence on the migration of heavy metals. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya* (*Geocology. Engineering Geology, Hydrogeology, Geocryology*). № 6. P. 483–493 (in Russian).
- Instructions for the design and operation of landfills for solid household waste. 1983. Moscow: Stroyizdat Publ. 39 p. (in Russian).
- Kiyashko I.Yu., Elizariyev A.N., Fashchevskaya T.B. et al. 2010. Development of the procedure of the integrated assessment of the filtration drainage contamination of waste burial. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* (*Bulletin of Irkutsk State Technical University*). № 2(42). P. 6–11 (in Russian).
- Kozlyakova I.V., Kozhevnikova I.A., Eremina O.N. et al. 2021. Methodological principles of assessing geoenvironment for allocation of municipal solid waste management facilities. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya* (*Geocology. Engineering Geology, Hydrogeology, Geocryology*). № 1. P. 48–58 (in Russian).
- Minashkina A.V., Kondratenko S.V. 2021. Variability of chemical parameters of filtration waters of the municipal solid waste landfill in the village named after A. Kosmodemyansky of the Kaliningrad region. *Gidrometeorologia i ekologiya* (*Hydrometeorology and Ecology*). № 64. P. 558–574 (in Russian).
- Landfill technologies. 1997. Moscow: Eco-technoprom Publ. 87 p. (in Russian).
- Poushnaya A.A., Oulanova O.V., Fedotov K.V. 2012. Analysis of basic biochemical processes passing at the solid household waste landfill of Irkutsk city. *Ekologiya i promyshlennost Rossii* (*Ecology and Industry of Russia*). № 6. P. 53–55 (in Russian).
- Recommendations for the collection, purification and disposal of waste-water from landfills of solid household waste. 2003. Moscow: Federal center for landscaping and waste management. 49 p. (in Russian).

Chilinger L.N., Latin O.V. 2023. Forecast of the demand of solid municipal waste polygons based on the analysis of open data of commissioning and volume of waste removal to disposal facilities. *Izvestiya Tomskogo politexnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov (Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Georesource Engineering)*. Vol. 334. № 6. P. 47–56 (in Russian).

Shaldunova N.P., Denisova N.S., Kirik D.A. 2015. Mathematical processing of land

cadastre information. *Guidance manual*. Perm: Perm State Agricultural Academy. 73 p. (in Russian).

Shamsieva G.Sh., Nayman S.M., Tunakova Yu.A. 2015. Study of filtration waters of the Samosyrov landfill in the city of Kazan as a source of environmental pollution. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta (Bulletin of Kazan Technological University)*. № 2. P. 450–453 (in Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Василискова Александра Владимировна – Калининградский государственный технический университет; 236022, Россия, Калининград; заведующий лабораториями кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура»; aleksandra.minashkina@klgtu.ru. SPIN-код: 2562-0516, Author ID: 1050297; Scopus ID: 57895507700.

Vasiliskova Aleksandra Vladimirovna – Kaliningrad State Technical University; 236022, Russia, Kaliningrad; Head of Laboratories of the Aquatic Bioresources and Aquaculture Chair; aleksandra.minashkina@klgtu.ru. SPIN-code: 2562-0516, Author ID: 1050297; Scopus ID: 57895507700.

Кондратенко Сергей Валентинович – Калининградский государственный технический университет; 236022, Россия, Калининград; кандидат биологических наук, доцент кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура»; sergej.kondratenko@klgtu.ru. SPIN-код: 5037-3456, Author ID: 1295770; Scopus ID: 57204215968.

Kondratenko Sergey Valentinovich – Kaliningrad State Technical University; 236022, Russia, Kaliningrad; Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Aquatic Bioresources and Aquaculture Chair; sergej.kondratenko@klgtu.ru. SPIN-code: 5037-3456, Author ID: 1295770; Scopus ID: 57204215968.

Статья поступила в редакцию 16.06.2025; одобрена после рецензирования 11.11.2025; статья принята к публикации: 18.12.2025.

The article was submitted 16.06.2025; approved after reviewing 11.11.2025; accepted for publication 18.12.2025.

Для цитирования: Василискова А.В., Кондратенко С.В. 2025. Вариабельность химических показателей фильтратонных вод полигона твердых коммунальных отходов г. Калининграда. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. Вып. 74. С. 116–126. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2025-74-116-126>.

For citation: Vasiliskova A.V., Kondratenko S.V. 2025. Variability of leachate chemical indicators from Kaliningrad municipal solid waste landfill. 2025. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. Iss. 74. P. 116–126. (in Russian). <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2025-74-116-126>.

**АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ
«ВЕСТНИК КАМЧАТГТУ» В 2025 ГОДУ (№ 71–74)**

Артюхин Ю.Б.	
Проблема взаимодействия птиц и любительского рыболовства: обзор по материалам печатных изданий и интернет-источников	73 54–74
Архипова Е.А., Коростелев С.Г.	
Макрофитобентос бухты Вилючинской Авачинского залива (Северо-Западная Пацифика) летом 2002 года.....	74 73–85
Василискова А.В., Кондратенко С.В.	
Вариабельность химических показателей фильтрационных вод полигона твердых коммунальных отходов г. Калининграда	74 116–126
Водинчар Г.М., Казаков Е.А.	
Об одной абстрактной системе управления с памятью в обратной связи	71 21–32
Горбачев М.М., Ястребов Д.П., Белавина О.А., Рогожников А.О., Швецов В.А.	
Разработка метода контрольных испытаний цинковых электродов сравнения «Менделеевец»	74 8–21
Григорьев С.С., Седова Н.А.	
Морфологическая характеристика личинок и мальков седловидного бычка <i>Microcottus sellaris</i> (Cottidae) из прибрежных вод Камчатки и западной части Берингова моря.....	74 97–115
Елина В.М., Благонравова М.В.	
Высокобелковая лапша из минтая – новый камчатский продукт.....	72 8–23
Ермолаев В.А.	
Анализ способов сушки спинулы и икры рыб	71 46–60
Заринова К.М., Тихонова Е.А.	
Распределение взвешенных веществ в прибрежных акваториях полуострова Камчатка.....	71 108–119
Калашникова М.В.	
Выявление ключевых детерминант радоноопасности урбанизированных территорий.....	74 22–31
Касперович Е.В., Бочкарев Н.Ю., Радайкин Е.А.	
Техногенное влияние полузатопленных и затопленных судов на морские прибрежные воды Камчатки (в том числе Авачинской губы) и Северных Курил	71 72–86
Клочкова Т.А., Васильев М.В., Клочкова Н.Г.	
Ламинариевые водоросли морей российского Дальнего Востока: ревизия молекулярно-генетической информации (по данным из NCBI)	74 44–72
Клочкова Н.Г., Рогатых С.В.	
Эффективность использования водного экстракта камчатской морской бурой водоросли <i>Alaria esculenta</i> (Laminariales) как биостимулятора прорастания семян <i>Vigna radiata</i> (Fabales)	74 86–96

Ковалев Н.Н., Барсова Е.А., Михеев Е.В., Лескова С.Е.		
Динамика липидного состава <i>Tetraselmis suecica</i> и <i>Phaeodactylum tricornutum</i> под влиянием индолил-3-масляной кислоты.....	72	24–38
Курбанова Л.В., Клочкова Т.А.		
Видовой состав фитопланктона Авачинской губы (Юго-Восточная Камчатка) в поздневесенний, летний и осенний периоды 2024 года	72	107–116
Лескова С.Е., Ковалев Н.Н., Злобина А.С., Ларикова М.В., Михеев Е.В.		
Влияние гормональной модификации состава микроводорослей на развитие личинок беспозвоночных	72	61–86
Лукерина Г.В., Сурков Д.А., Пяткова Я.С., Толкушкина Г.Д., Косачева Ю.Н., Щербаков В.И.		
Актуализация методических подходов при проведении ресурсных исследований на гипергалинном озере Большое Яровое (Алтайский край).....	73	87–100
Мартыненко Д.О., Позолотина Л.А., Назарова М.А., Климова А.В.		
Загрязнение нефтепродуктами прибрежных акваторий Авачинской губы (Авачинский залив)	71	87–107
Надвоцкая В.В., Тимофеев В.В.		
Использование хроматографического анализа для контроля загрязненности поверхностных водных объектов.....	71	61–71
Овчарук А.С., Судник С.А.		
Репродуктивное состояние, тип репродуктивной стратегии самцов и самок краба <i>Rhithropanopeus harrisii</i> (Gould, 1841) (Brachyura: Panopeidae) из Таманского залива Азовского моря в 2011 году	72	39–60
Пахомов М.В., Зайцев А.А.		
Исследование критической частоты слияния мельканий у серых тюленей (<i>Halichoerus grypus</i> Fabricius, 1791) в условиях неволи	73	75–86
Перетягко Н.Д., Сухов М.А., Куценкова В.С., Неповинных Н.В.		
Разработка состава и оценка свойств антипригарного эмульсионного геля	74	32–43
Румянцев А.Е., Ефимова М.В., Ефимов А.А.		
Обоснование применения газообразного диоксида углерода как стабилизатора качества зерна соленой замороженной лососевой икры	71	33–45
Токранов А.М.		
Инвазивные гидробионты в водах Камчатки	73	37–53
Фролова Н.А., Верхотуров В.В., Шкрабтак Н.В., Александров И.С., Подашев Д.Б., Щербакова Е.П., Снытников А.В.		
Анализ цветовых характеристик кофейных зерен при помощи сверточных нейронных сетей.....	73	8–15
Фролова Н.А., Верхотуров В.В., Шкрабтак Н.В., Гринчук М.А., Веремей Е.Е.		
Использование фитопорошка ягод <i>Hipporhae rhamnoides</i> L. в технологии кондитерских изделий повышенной пищевой ценности	73	28–36

Царенко С.Н., Зайцев С.А.

Оценка количества тепловой энергии при работе упругой муфты судового валопровода	71	8–20
---	----	------

Чмыхалова В.Б.

Влияние режимов предварительной обработки гидробионтов, используемых при производстве кондитерских изделий на степень их дисперсности	73	16–27
---	----	-------

Ширяева Н.С., Судник С.А.

Биология <i>Pontogammarus robustoides</i> (G.O. Sars, 1894) (Malacostraca: Amphipoda: Pontogammaridae) из озера Виштынецкого в 2018–2019 годах	72	87–106
--	----	--------

Учредитель:
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Камчатский государственный технический университет»

Издание зарегистрировано в Управлении Федеральной службы по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций по Камчатскому краю
Регистрационный номер ПИ № ТУ41-00321 от 01 декабря 2020 года

Главный редактор Т.А. Ключкова

Редактор О.В. Ольхина
Верстка, оригинал-макет Е.Е. Бабух

Адрес редакции, издателя:

683003, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35
Тел. (4152) 300-953, (4152) 300-933
E-mail: kamchatgtu@kamchatgtu.ru
www.kamchatgtu.ru

Дата выхода в свет 23.12.2025 г.
Формат 60*84/8. Печать цифровая. Гарнитура PT Astra Serif
Авт. л. 9,41. Уч.-изд. л. 10,47. Усл. печ. л. 15,58
Тираж 500 экз. Заказ № KX25-000157

Подписной индекс в каталоге «Почта России» ПН093

Цена свободная

Отпечатано в ООО «Камчатпресс Холдинг»
683017, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Кроноцкая, 12а

ISSN 2079-0333



9 772079 033418 >