

Экологические исследования Н.К. Христофоровой и ее учеников на Дальнем Востоке России

Светлана Ивановна КОЖЕНКОВА¹
кандидат биологических наук, старший
научный сотрудник
svetlana@tigdvo.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8503-2006>

Елена Николаевна ЧЕРНОВА¹
кандидат биологических наук, старший
научный сотрудник
elena@tigdvo.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4200-6278>

Елена Владимировна ЖУРАВЕЛЬ²
кандидат биологических наук, доцент
zhuravel.ev@dvfu.ru
<https://orcid.org/0009-0000-9395-330X>

Анна Владимировна ЛИТВИНЕНКО³
кандидат биологических наук, доцент
litvinenko.av@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3423-3860>

Виктор Яковлевич КАВУН⁴
кандидат биологических наук, старший
научный сотрудник
vkavun11@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4739-4951>

Юлия Александровна ГАЛЫШЕВА²
кандидат биологических наук, доцент,
заведующая международной кафедрой
ЮНЕСКО «Морская экология»
galysheva.yua@dvfu.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8054-972X>

Ирина Леонидовна РЕВУЦКАЯ⁵
кандидат биологических наук, доцент, заведу-
ющая кафедрой экологии, географии и приро-
доохранного права
irina.etx@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4214-1958>

Татьяна Валерьевна БОЙЧЕНКО²
кандидат биологических наук, доцент между-
народной кафедры ЮНЕСКО «Морская
экология»
boychenko.tv@dvfu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0502-3522>

Лидия Тихоновна КОВЕКОВДОВА²
доктор биологических наук, профессор
kovekovdova.lt@dvfu.ru

¹ФГБУН «Тихоокеанский институт географии» ДВО РАН, Владивосток, Россия

²ФГБОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия

³ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет», Южно-Сахалинск, Россия

⁴ФГБУН «Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского» ДВО РАН, Владивосток, Россия

⁵ФГБОУ ВО «Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема», Биробиджан, Россия

Аннотация. Надежда Константиновна Христофорова с 1974 г. в течение 50 лет работала в лаборатории геохимии Тихоокеанского института географии ДВО РАН, тесно сотрудничая со многими российскими и иностранными учеными. В 1985 г. защитила диссертацию по теме «Биоиндикация загрязнения морских вод тяжелыми металлами» и стала первым в Дальневосточном регионе России доктором биологических наук по специальности «Экология». В 1986 г. Дальневосточный государственный университет (ныне ДВФУ) пригласил Н.К. Христофорову на работу для создания

кафедры экологии. С этого времени Надежда Константиновна успешно совмещала педагогическую работу в университете и научную деятельность в ТИГ ДВО РАН. Основным направлением ее экологических исследований был мониторинг состояния морской среды на основе использования химических и биологических методов контроля. В качестве объектов биомониторинга использовали растения (бурые водоросли и морские травы), беспозвоночных животных (брюхоногих и двусторчатых моллюсков, морских ежей) и рыб. С 2001 г. началось сотрудничество с Биробиджанским государственным педагогическим институтом. Здесь Надеждой Константиновной была организована научная школа «Экологические факторы среды и здоровье населения», в рамках которой проводили изучение биогеохимических особенностей среды и антропогенных факторов на территории Еврейской автономной области и их влияния на здоровье населения. В статье приводится общая характеристика научных исследований Н.К. Христофоровой и ее учеников, включая мониторинг морских и наземных экосистем.

Ключевые слова: экологический мониторинг, дальневосточные моря, биоиндикация, качество среды, биогеохимические провинции, гидрохимия, Приморский край, ЕАО

Для цитирования: Коженкова С.И., Чернова Е.Н., Журавель Е.В., Литвиненко А.В., Кавун В.Я., Галышева Ю.А., Ревущая И.Л., Бойченко Т.В., Ковековдова Л.Т. Экологические исследования Н.К. Христофоровой и ее учеников на Дальнем Востоке России // Тихоокеанская география. 2024. № 4. С. 88–106. https://doi.org/10.35735/26870509_2024_20_8.

Original article

Ecological studies of N.K. Khristorova and her students in the Russian Far East

Svetlana I. KOZHENKOVA¹
Candidate of Biological Sciences, Senior
research associate
svetlana@tigdvo.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8503-2006>

Elena N. CHERNOVA¹
Candidate of Biological Sciences, Senior
research associate
elena@tigdvo.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4200-6278>

Elena V. ZHURAVEL²
Candidate of Biological Sciences, Associate
professor
zhuravel.ev@dvfu.ru
<https://orcid.org/0009-0000-9395-330X>

Anna V. LITVINENKO³
Candidate of Biological Sciences, Associate
professor
litvinenko.av@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3423-3860>

Victor Ya. KAVUN⁴
Candidate of Biological Sciences, Senior
research associate
vkavun11@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4739-4951>

Yuliya A. GALYSHEVA²
Candidate of Biological Sciences,
Associate professor,
Head of the UNESCO International Department of Marine Ecology
galysheva.yua@dvfu.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8054-972X>

Irina L. REVUTSKAYA⁵
Candidate of Biological Sciences, Assistant
professor, Head of Department
irina.etx@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4214-1958>

Tatyana V. BOYCHENKO²
Candidate of Biological Sciences, Associate
Professor at the UNESCO International
Department of Marine Ecology
boychenko.tv@dvfu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0502-3522>

Lidiya T. KOVEKOVDOVA²
Doctor of Biological Sciences, Professor
kovekovdova.lt@dvfu.ru

¹Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

²Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

³Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

⁴A.V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology FEB RAS, Vladivostok, Russia

⁵Sholom-Aleichem Priamursky State University, Birobidzhan, Russia

Anstract. Nadezhda K. Khristoforova defended her dissertation thesis titled “Bioindication of sea water pollution with heavy metals” in 1985 and she had become the first Doctor of Biological Sciences in the specialty “Ecology” in the Far East of Russia. Since 1974, she worked in the Laboratory of Geochemistry of the Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Vladivostok, Russia) for 50 years in close collaboration with Russian and foreign scientists. In 1986, the Far Eastern State University (now the Far Eastern Federal University) invited N.K. Khristoforova to work for the founding of the Department of Ecology. Since then, Nadezhda Konstantinovna has successfully combined her teaching work at the University and scientific activity at the Pacific Geographical Institute, FEB RAS. Monitoring of the marine environment using chemical and biological methods was the focus of her ecological studies. Plants (brown algae and seagrasses), invertebrates (gastropods, bivalves, sea urchins) and fish were taken as bioindicators. Nadezhda Konstantinovna organized seasonal hydrochemical and microbiological studies in the Vostok, Nakhodka, Amur and Ussuri bays and other water areas of the Sea of Japan for many years. Long-term monitoring of heavy metal pollution led to understanding of the dynamics of the intensity of the “metal press” on marine environment. For example, the use of brown algae as pollution indicators made it possible to determine the negative impact of the Tumannaya river’s outflow on the seawater of the Far Eastern State Marine Reserve in the 1990s. A decrease in pollution of coastal waters in the western part of Ussuri Bay in 2017-2018, compared to 2001-2002, was exposed based on Zn, Cu and Pb concentrations in *Sargassum miyabei* Yendo and *Sargassum pallidum* (Turner) C. Agardh. This improvement of local environment resulted from the implementation of various environmental protection measures, including the reclamation of the solid waste landfill and ash dumps. Collaboration between N.K. Khristoforova and Birobidzhan State Pedagogical Institute began in 2001. Nadezhda Konstantinovna founded the scientific school “Ecological environmental factors and public health” there. The studies of biogeochemical features and anthropogenic factors in the Jewish Autonomous Region, as well as their impact on public health, were carried out. Concentrations of heavy metals - Fe, Mn, Ni, Pb, Cu, Zn, Co, Cd, Hg in the air, river water and groundwater, soil, biota and snow were studied as well. The article contains a general description of the scientific works of N.K. Khristoforova and her students, including those on monitoring of marine and terrestrial ecosystems.

Keywords: hydrochemistry, bioindication, environmental monitoring, environmental quality, biogeochemical provinces, Far Eastern seas, Primorsky Krai, Jewish Autonomous Region

For citation: Kozhenkova S.I., Chernova E.N., Zhuravel E.V., Litvinenko A.V., Kavun V.Ya., Galysheva Yu.A., Revutskaya I.L., Boychenko T.V., Kovekovdova L.T. Ecological studies of N.K. Khristoforova and her students in the Russian Far East. Pacific Geography. 2024;(4):88-106. https://doi.org/10.35735/26870509_2024_20_8.

Введение

Христофорова Надежда Константиновна (30.10.1940 – 07.03.2024) – доктор биологических наук, Заслуженный деятель науки Российской Федерации, профессор. Основной областью научных интересов Надежды Константиновны были биогеохимия и экология водных экосистем. С 1974 г. в течение 50 лет она работала в лаборатории геохимии Тихоокеанского института географии ДВО РАН (г. Владивосток), тесно сотрудничая с российскими и иностранными учеными из других учреждений. В 1985 г. Надежда Константиновна успешно защитила диссертацию на соискание степени доктора биологических наук по теме «Биоиндикация загрязнения морских вод тяжелыми металлами», став первым в Дальневосточном регионе России доктором биологических наук по специальности «Экология». В 1986 г. Дальневосточный государственный университет (ДВГУ, ныне ДВФУ) пригласил Н.К. Христофорову на работу для создания кафедры экологии. С этого времени Надежда Константиновна успешно совмещала педагогическую работу в университете и научную деятельность в ТИГ ДВО РАН.

Диссертационная работа Н.К. Христофоровой была посвящена выявлению «закономерностей отражения прибрежными организмами содержания тяжелых металлов в морской воде» и разработке «теоретических основ и практических рекомендаций использования водорослей и беспозвоночных для оценки уровня и эффекта загрязнения» [1, с. 2]. В ней были подведены итоги исследований 1974–1984 гг., выполненные в Тихоокеанском институте географии ДВНЦ АН СССР по разработке теоретических основ, организации и проведения мониторинга загрязнения морской среды тяжелыми металлами (ТМ). Выбор анализируемых металлов – Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Cr, Pb, Cd – определялся их биологической значимостью, возможной токсичностью и распространенностью в промышленных и бытовых стоках, поступающих в зал. Петра Великого. Основу работы составляли данные, полученные и опубликованные Н.К. Христофоровой самостоятельно или в соавторстве с сотрудниками лаборатории геохимии ТИГ (Н.Н. Богдановой, В.М. Шулькиным, Г.А. Власовой, Л.М. Толстовой); лабораторий сравнительной физиологии и химической экологии; гаметогенеза; шельфовых сообществ Института биологии моря ДВО РАН (Л.М. Масловой, З.С. Евтушенко, О.Н. Лукьяновой, С.М. Гнездиловой, И.С. Гусаровой), лаборатории химии почв МГУ (А.И. Обуховым), Института морских исследований СРВ (Нгуен Хыу Зинь, Лам Нгок Чам). Материалы для исследований были собраны во время экспедиций, организованных ТИГ ДВО РАН и ИБМ ДВО РАН в дальневосточных морях СССР, у островов юго-западной части Тихого океана и в Южно-Китайском море. Основной объем работ был осуществлен в 1975–1984 гг. на прибрежном стационаре ТИГ в пос. Смычка (Приморский край, Дальнегорский район). Кроме того, сборы мидии тихоокеанской (*Mytilus trossulus* A. Gould) с буев навигационного ограждения в дальневосточных морях СССР выполнены на гидрографических судах Тихоокеанского флота (ТОФ) сотрудниками ТИГ и ИБМ ДВО РАН. Опыты по выяснению влияния добавок кадмия на разные стадии онтогенеза морских ежей поставлены на аквариальной морской экспериментальной станции «Витязь» Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН при содействии и консультациях В.П. Найдено и Т.Х. Найдено [2]. Общее количество проанализированных проб составило: 1600 проб воды, более 1000 проб взвеси и более 8000 биологических проб, в том числе морских водорослей, мягких тканей и органов беспозвоночных животных, биохимических препаратов.

В результате исследований были получены новые для науки данные о содержании ТМ в талломах массовых видов бурых водорослей и мягких тканях двусторчатых и брюхоногих моллюсков прибрежных вод Японского и Южно-Китайского морей, островов Океании; влиянии на химический состав гидробионтов природно-климатических и антропогенных факторов; механизмах их приспособления к существованию в условиях загрязненной среды; негативном воздействии кадмия на разные стадии онтогенеза морских ежей. В работе были использованы подходы разного масштаба – локальный, региональный и глобальный, что позволило Н.К. Христофоровой выявить различия между концентрациями металлов в организмах в фоновых и импактных (природных и антропогенных) условиях среды. В частности, в отношении содержания цинка в фукусах было установлено, что «...на открытых морских берегах с низким уровнем антропогенного пресса фоновые концентрации этого металла лежат в пределах 20–40 мкг/г сух. вещ. Для полузамкнутых морей с более высоким антропогенным влиянием фоновый уровень цинка поднимается до 50–70 мкг/г. В импактных условиях, в локальных районах побережий под влиянием медно-цинковых и свинцово-цинковых производств концентрации элемента достигают 1000–2500 мкг/г. В промежуточных зонах содержание Zn изменяется от одной до нескольких сотен мкг/г» [1, с. 45].

Результаты диссертационного исследования были опубликованы в монографии Н.К. Христофоровой «Биоиндикация и мониторинг загрязнения морских вод тяжелыми металлами» [2]. Книга стала очень востребованной и широко цитируемой в публикациях (226 цитирований), посвященных оценке экологического состояния морей. Направления экологического мониторинга с использованием морских водорослей и беспозвоночных

животных как организмов-индикаторов и/или тест-объектов продолжали развиваться как самой Надеждой Константиновной, так и ее учениками. Однако этими научными вопросами не ограничились исследования экологического содержания, которыми занималась в последующие годы Н.К. Христофорова. Целью настоящей статьи является краткое обобщение различных направлений ее работы совместно с учениками, включая мониторинг морских и наземных экосистем.

Биомониторинг загрязнения морской среды тяжелыми металлами с использованием макрофитов

Исследование химического состава морских водорослей и трав с целью использования их как индикаторов степени загрязнения морской среды тяжелыми металлами было начато Н.К. Христофоровой в 1976 г. Отбор проб несколько раз проводили вдоль побережья Приморского края, а также в ходе крупных морских экспедиций у островов юго-западной части Тихого океана и в Южно-Китайском море. В качестве индикаторов загрязнения морской среды металлами Надеждой Константиновной были апробированы наиболее распространенные на литорали и в верхней сублиторали прибрежной зоны следующие виды бурых водорослей: для северного сектора Пацифики (от 40° с.ш.) – *Fucus distichus* subsp. *evanescens* (C. Agardh) H.T. Powell [syn. *F. evanescens* C. Agardh] и *Stephanocystis crassipes* (Mertens ex Turner) Draisma, Ballesteros, F. Rousseau & T. Thibaut [syn. *Cystoseira crassipes* (Merten ex Turner) C. Agardh]; для северо-западного побережья Японского моря, в частности побережья Приморья, – *Silvetia babingtonii* (Harvey) E.A. Serrão, T.O. Cho, S.M. Boo et Brawley [syn. *Pelvetia wrightii* Okamura]; для тепловодных районов умеренной зоны, субтропических и тропических мелководий – водоросли рода *Sargassum*. Использовалась также однолетняя широкобореальная *Costaria costata* (C. Agardh) Saunders, растущая в западной и восточной частях Тихого океана; впервые в качестве индикатора предложена однолетняя водоросль *Scytosiphon lomentaria* (Lyngbye) Link, распространенная в субтропических, умеренных и субарктических водах [2].

Способность разных видов водорослей аккумулировать тяжелые металлы в районах с фоновыми и «аномальными» концентрациями элементов в морской воде изучалась в Сихотэ-Алинском биосферном районе Приморского края. В Тернейском районе расположен Сихотэ-Алинский природный биосферный заповедник, и экологические условия морских вод, примыкающих к заповеднику, отражают фоновое состояние среды. Но южнее, в долине р. Рудная Дальнегорского района, в 1897 г. началась разработка первого серебряно-свинцово-цинкового месторождения. В 1914 г. в г. Дальнегорске была запущена обогатительная фабрика, производившая свинцовый и цинковый концентраты [3]. Часть свинцового концентрата направляли на небольшой плавильный завод в пос. Рудная Пристань [4]. Добыча, транспортировка и переработка руды привели к высокому загрязнению б. Рудная Японского моря свинцом и цинком. Исследования химического состава водорослей, собранных на разном удалении от основных источников загрязнения морской среды металлами, стали основой для оценки аккумулирующей способности разных видов водорослей. Была «выявлена специализация разных видов водорослей в концентрировании определенных металлов, которая связана как с физико-химическим состоянием элементов в воде, так и концентрационными особенностями макрофитов. Цистозира и саргассумы, обладающие разветвленными и рассеченными талломами, накапливают больше железа и свинца, чем фукусы. Необычайной способностью к накоплению этих металлов отличается цистосифон» [1, с. 44].

На протяжении столетия интенсивность хозяйственной деятельности в долине р. Рудная не была постоянной, и мониторинг экологического состояния морских прибрежных вод этого района, проводившийся Н.К. Христофоровой и ее учениками – Е.Н. Черновой, С.И. Коженковой и А.Д. Кобзарь – вплоть до 2020 г. с использованием макрофитов, по-

зволил проследить динамику интенсивности «металлического пресса» на морскую среду [3, 5–8].

Другим важнейшим районом экологических исследований Н.К. Христофоровой с целью оценки загрязнения морских прибрежных вод ТМ с использованием морских растений являлся зал. Петра Великого Японского моря. Отбор проб двух видов саргассумов – *Sargassum miyabei* Yendo и *Sargassum pallidum* (Turner) C. Agardh для химического анализа был проведен в июле 1979 г. с 12 станций от зал. Посыета до зал. Восток, при этом наибольшее число станций располагались в заливах Амурском и Уссурийском [9]. Постепенно сеть станций экологического мониторинга в зал. Петра Великого с использованием макрофитов расширялась и к настоящему времени насчитывает около 100 станций.

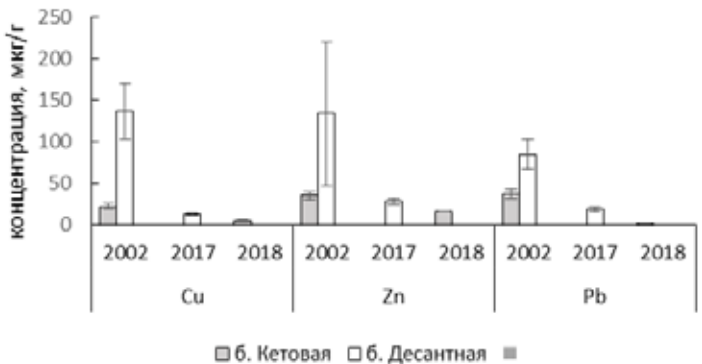
В конце 1980-х гг. экологическая ситуация в акваториях Амурского и Уссурийского заливов и проливе Босфор Восточный заметно ухудшилась из-за сброса неочищенных муниципальных и промышленных сточных вод в городах юга Приморья. К началу 2000-х гг. наиболее актуальной стала проблема трансграничного переноса поллютантов в бассейне р. Туманная, что повлияло на химико-экологическую ситуацию в юго-западной части зал. Петра Великого (ЗПВ), включая акватории Дальневосточного морского биосферного государственного природного заповедника (ДВМБГПЗ). Возросший приток туристов на побережье края в эти годы также повлиял на качество морских вод и вызвал ряд изменений в биогеоценозах [10, 11].

Благодаря многолетним научным исследованиям, направленным на оценку состояния биоты и информирование населения о происходящих изменениях, не прекращалась работа соответствующих органов власти по устранению причин загрязнения окружающей среды. В результате реализации природоохранных мероприятий по рекультивации полигона твердых бытовых отходов (ТБО) и золоотвалов ТЭЦ-2 г. Владивосток, а также перевода ТЭЦ-2 с угля на природный газ произошло уменьшение загрязнения морских прибрежных вод западной части Уссурийского залива Японского моря [12]. В бурых водорослях, собранных в 2001–2002 гг., концентрации Zn, Cu и Pb превышали пороговые величины фоновых уровней в 5,6, 40 и 74 раза соответственно. После рекультивации объектов загрязнения (в 2012–2018 гг.) поступление поллютантов в Уссурийский залив уменьшилось, что проявилось в снижении концентраций металлов в саргассумах (рис. 1).

Экологическое состояние юго-западной части ЗПВ и бассейна р. Туманная, большая часть которого расположена на территории Китая и КНДР, ухудшилось в конце 1990-х гг. Причиной был рост населения этих стран и увеличение объема неочищенных сточных вод промышленных (целлюлозных, химических, металлургических и горнодобывающих) предприятий, сельского хозяйства и городских территорий и их трансграничный перенос с морскими течениями на север, в акваторию Российской Федерации. Анализ содержания металлов в талломах массовых видов бурых водорослей, собранных летом 1996 г. на 7 станциях восточного участка и 4 станциях южного участка ДВМБГПЗ, показал, что растения из южного участка, граничащего с устьевой зоной р. Туманная, имели более вы-

Рис. 1. Изменение концентраций меди, цинка и свинца в бурой водоросли *Sargassum pallidum* из Уссурийского залива с 2002 по 2017–2018 гг., мкг/г сух. массы

Fig. 1. Changes in copper, zinc and lead concentrations in the brown alga *Sargassum pallidum* in Ussuri Bay from 2002 to 2017–2018, µg/g dry weight



сокие концентрации Fe, Mn и Cu. Сравнение результатов исследования с данными 1987 и 1989 гг. позволило выявить статистически значимое увеличение содержания Zn в талломах макрофитов (рис. 2) к середине 1990-х гг. [13]. Ранее было показано [2], что бурые водоросли из районов, испытывающих антропогенное воздействие, содержат повышенные концентрации этого элемента. Следовательно, установленный рост содержания Zn в водорослях из морского заповедника указывал на трансграничный перенос загрязняющих веществ.

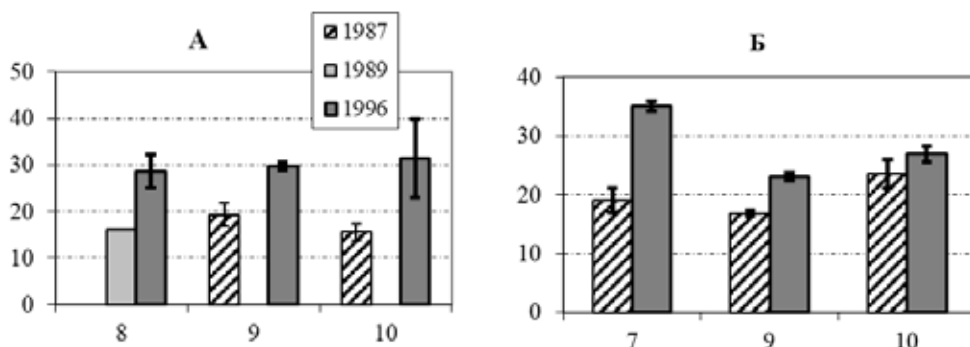


Рис. 2. Концентрация цинка в талломах *Costaria costata* (А) и *Saccharina japonica* (Б) в 1987, 1989 и 1996 гг. на восточном (станция 7) и южном (станции 8, 9, 10) участках ДВМБГПЗ. Станции: 7 – о-в Большой Пелис, 8 – б. Сивучья, 9 – м. Островок Фальшивый, 10 – о. Фуругельма. По оси абсцисс – станции, по оси ординат – концентрация Zn, мкг/г сух. массы. Межгодовые различия достоверны при $p < 0.05$ (кроме ст. 10 на графике Б)

Fig. 2. Zinc concentration in thalli of *Costaria costata* (A) and *Saccharina japonica* (B) in 1987, 1989 and 1996 in the eastern (site 7) and southern (sites 8, 9, 10) sections of the Far Eastern Marine State Reserve. Sites: 7 – Bolshoy Pelis Island, 8 – Sivuchya Bay, 9 – Ostrovok Falshiviy Cape, 10 – Furugelm Island. The abscissa axis shows sites, the ordinate axis shows Zn concentration, µg/g dry weight. Interannual differences are significant at $p < 0.05$ (except for site 10 in graph B)

Многолетнее международное сотрудничество в целях уменьшения и предотвращения загрязнения р. Туманная способствовало снижению объема сброса загрязняющих веществ на территории Китая. Однако проблема трансграничного переноса поллютантов на акваторию юго-западной части зал. Петра Великого остается актуальной, поскольку кроме речного стока источником поступления металлов в морскую среду являются атмосферные выпадения [8].

С начала 2000-х гг. сильно возрос рекреационный пресс на побережье южной части Приморского края. Как показывают результаты экологического мониторинга, проведенного в начале XXI столетия и в 2016–2017 гг., отмечается тенденция роста уровней содержания никеля в макрофитах заливов Восток и Посыета [14]. Никель является микропримесью в составе нефтяных углеводородов, поэтому сжигание флотского топлива морскими судами, количество которых возрастает, особенно в рекреационных районах, а также разливы нефти могут вызывать его дополнительное поступление в водную среду и накопление биоиндикаторами. Так, если в 2002–2003 гг. концентрации Ni в *S. miyabei* из зал. Восток составляли 2.5–3.8 мкг/г [15], то в 2017 г. они увеличились почти в 2 раза – до 6.0–6.6 мкг/г сух. массы. Учитывая растущий трафик судов в Японском море, Надеждой Константиновой было высказано предположение о возможном росте степени загрязнения морских прибрежных вод никелем на региональном уровне: «Каждое время имеет свою экологическую особенность. Если до 2003 г., до принятия закона о запрещении тетраэтилсвинцовой добавки в качестве антидетонатора к топливу для двигателей внутреннего сгорания, свинец входил в триаду главных токсикантов окружающей среды – Hg, Cd, Pb, то в настоящее время для морских прибрежных акваторий, особенно для Дальнего Востока, с усилением портовой деятельности, развитием морских транспортных перевозок его может заме-

нить Ni. И хотя он менее токсичен, чем свинец, эффект, как известно, зависит от дозы, а «доза» – выброс никеля в окружающую среду – интенсивно нарастает» [8].

Кроме макроводорослей в биомониторинге тяжелых металлов часто используют морские травы семейства *Zosteraceae* [16]. Фотосинтезирующая часть этих растений аккумулирует растворенные металлы из воды, тогда как корневая система — из грунтовых вод. Виды рода *Zostera* заселяют песчаные грунты, поэтому их можно использовать в качестве биоиндикаторов там, где каменистый субстрат сменяется более мелкодисперсным. Изучение процессов накопления металлов *Zostera marina* L. в зал. Петра Великого было проведено М.А. Шишловой под руководством Н.К. Христофоровой, по итогу которого в 2002 г. ею была успешно защищена диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук [17].

Надежду Константиновну интересовал вопрос и о причинах специфики концентрирования химических элементов разными группами живых организмов. В 1998 г. в зал. Посьета были собраны бурые водоросли рода *Sargassum* и морские травы – *Z. marina* и *Phyllospadix iwatensis* Makino. Результаты химического анализа их тканей позволили Н.К. Христофоровой углубиться в тему о происхождении особенностей накопления металлов растениями генетически различных групп [18, 19]. Вслед за Е.А. Бойченко [20] Надежда Константиновна предположила, что более высокое количество Mn и Cu в высших растениях связано с более поздним временем их возникновения в биосфере после водорослей. Соединения марганца участвуют в выделении кислорода при фотосинтезе в сильно окисленной биосфере. Древняя же биосфера носила восстановленный характер, и основным металлом, обеспечивающим протекание реакций обмена в растительных клетках, было железо. Поэтому, очевидно, бурые водоросли, возникшие раньше, содержат более высокие концентрации железа, чем морские травы. Только железо, благодаря своим физико-химическим свойствам легко отдавать и принимать электроны в восстановительной среде с низким окислительным потенциалом, могло обеспечить протекание обменных процессов в первичных организмах. Это свойство было унаследовано всеми одноклеточными и передано многоклеточным, несмотря на изменение условий в среде [19]. По мере нарастания окисленности среды, связанной с накоплением кислорода, выделяемого сине-зелеными водорослями, в обеспечение окислительно-восстановительных реакций включались другие поливалентные металлы, в частности никель. Этот металл в количестве 0.02 % входит в состав ферментов дегидрогеназ, усиливающих окислительные процессы в клетках водорослей протерозоя. Поэтому, вероятно, его концентрация выше в водорослях, по сравнению с морскими травами. Таким образом, одной из причин различия в генетически обусловленных количествах металлов в водорослях и морских травах является время появления этих групп в биосфере.

Биомониторинг загрязнения морской среды тяжелыми металлами с использованием двустворчатых и брюхоногих моллюсков

Н.К. Христофоровой заложены основы использования двустворчатых моллюсков из прибрежных вод северо-западной части Тихого океана в качестве организмов-индикаторов [1, 2]. Ею было обосновано использование сети навигационных буев в качестве реперных станций для мониторинга состояния вод дальневосточных морей по мидиям-обрастателям [21, 22].

В 1993 г. была издана монография Надежды Константиновны с соавторами — результат работы в марикультурных хозяйствах зал. Петра Великого: на фоне химико-экологической характеристики среды обитания проанализированы уровни содержания металлов в массовых, широко используемых в пищу двустворчатых моллюсках: *Crenomytilus grayanus* Dunker, *Magalana gigas* Thunberg, *Mizuchopecten yessoensis* Jay, *Modiolus kurilensis* F.R. Bernard и *M. trossulus*. Рассмотрено изменение концентраций металлов в моллюсках в

зависимости от сезона, возраста и условий среды обитания. Высказаны рекомендации о наиболее оптимальных сроках сбора продукции, а также обсуждены возможности использования моллюсков как организмов-индикаторов для качественной и количественной оценки загрязнения морских вод металлами [23].

Надеждой Константиновной был изучен микроэлементный состав моллюсков Вьетнама, тихоокеанских островов Океании и показано, что прибрежно-морские экосистемы островов, как правило, содержат более низкие концентрации ТМ, чем экосистемы материков, благодаря меньшему вкладу терригенного стока и большей степени его разбавления [2]. Кроме того, Н.К. Христофорова внесла существенный вклад в разработку системы контроля за содержанием тяжелых металлов в прибрежных водах Вьетнама. Под ее руководством была проведена оценка терригенного, антропогенного и техногенного воздействия на экосистемы коралловых рифов мелководного залива Ха Лонг, объявленного ЮНЕСКО объектом всемирного природного наследия [24].

Роль современного вулканизма и апвеллингов в формировании зон с высокими концентрациями металлов в прибрежных водах Камчатки и Курильских островов была изучена в 1980-е гг. [25]. Эти работы послужили основой для дальнейшего исследования механизмов адаптации митилид к обитанию в природных импактных зонах с повышенным содержанием кадмия [26].

Надежда Константиновна неравнодушно следила за экологической ситуацией в зал. Восток (ЗПВ, Японское море), активное многолетнее природопользование в береговой и морской прибрежной зоне которого не могло не отложить отпечаток на его экосистему. В 2020 г. Н.К. Христофорова вместе со своими учениками начала серию комплексных экспедиций в зал. Восток, частью исследований которых был и анализ накопления Fe, Zn, Cu, Ni, Pb и Cd двустворчатыми моллюсками *C. grayanus* и *M. kurilensis* [27]. Было обнаружено, что в 2020 и 2021 гг. концентрации металлов в мидиях и модиолусах из зал. Восток в целом сопоставимы с полученными в 1990-х гг. содержаниями данных элементов в моллюсках из фоновых районов ЗПВ [23]. Однако в некоторых особях моллюсков, отобранных у м. Пашинникова и выходного мыса б. Гайдамак, выявлены концентрации кадмия, превышающие санитарно-гигиенический норматив.

Одним из последних исследований Надежды Константиновны с использованием моллюсков-индикаторов была оценка долговременных изменений содержания ТМ в тканях *C. grayanus* и *M. kurilensis* из прибрежных вод Уссурийского залива. Установлено, что современное распределение содержания металлов в моллюсках из разных его частей в целом было сравнительно однородным. В то же время, по сравнению с показателями 2006 г., в настоящее время в моллюсках произошло повышение верхних значений диапазонов концентраций Zn и Cd в 1.5 раза, Cu – более чем в 2 раза [28].

Тест-объекты в экологическом мониторинге морей

Изучение влияния токсичных веществ и загрязненных морских вод на ранние стадии онтогенеза морских беспозвоночных – еще одно направление исследований Н.К. Христофоровой. Более 40 лет назад была опубликована первая ее работа в этой области, написанная в соавторстве с Г.А. Власовой – «Действие кадмия на ранний онтогенез морского ежа *Strongylocentrotus intermedius*» [29]. Было показано, что действие ионов кадмия в меньшей степени влияет на процесс оплодотворения яйцеклеток, а наиболее уязвимой стадией является переход от эмбриональных к личиночным стадиям (гастрюла, средний плутеус). Заметный эффект влияния ионов кадмия на эмбриональное и личиночное развитие *S. intermedius* A. Agassiz был отмечен начиная с концентрации 0.1 мг/л, а при концентрации кадмия 2.5 и 5 мг/л наблюдалось наибольшее число аномалий и массовая гибель личинок. Позже совместно с А.Н. Тюриным был проведен поиск других дальневосточных видов гидробионтов, чувствительных к загрязнению. По отношению к ионам

металлов и детергентам высокая чувствительность была выявлена у хитонов *Tripoplax albrechtii* Schrenck (syn. *Lepidozona albrechtii*) и *Ischnochiton hakodadensis* P.P. Carpenter, особенно в период оседания личинок и метаморфоза [30]. Кроме того, было показано, что на токсичность загрязняющих веществ для гидробионтов могут повлиять и природные факторы. Так, совместное воздействие опреснения и додецилсульфата натрия (ДСН) показало, что добавление 0.1 мг/л детергента (ПДК для рыбохозяйственных водоемов) в воду с соленостью 28 ‰ приводит к нарушению развития личинок плоского морского ежа *Scaphechinus mirabilis* A. Agassiz начиная со стадии бластулы – выхода личинки из эмбриональной оболочки и начала непосредственного контакта со средой.

Методы биотестирования применялись и для оценки состояния прибрежных морских вод. На основе результатов биотестов с микроводорослью *Dunaliella salina* (Dunal) Teodoresco и эмбрионами и личинками плоского морского ежа *S. mirabilis* было выявлено ярко выраженное негативное воздействие воды из заливов Находка и Восток на результаты эмбриотеста по сравнению с водой из юго-западной части зал. Петра Великого, а также большая чувствительность ранних стадий развития *S. mirabilis* к загрязнению и понижению солености воды по сравнению с *D. salina*, для роста численности культуры которой более значимым фактором оказалось содержание биогенных веществ в тестируемой воде [31].

Микробная индикация и гидрохимическая оценка антропогенной трансформации морской среды

В конце 1990-х – начале 2000-х гг. кафедра экологии ДВГУ стала одним из важнейших научно-образовательных подразделений на Дальнем Востоке России, проводившим многочисленные и разнообразные исследования. Новыми экологическими направлениями научных работ кафедры стали микробная индикация и оценка антропогенной трансформации морской среды по гидрохимическим показателям. Надежда Константиновна курировала эти исследования и активно в них участвовала.

В конце XX столетия кафедра экологии пополнилась специалистом-микробиологом Г.Ю. Димитриевой и открыла новое направление в исследованиях, связанное с микробной индикацией уровня содержания органических загрязняющих веществ и тяжелых металлов в воде [32]. Научной основой работ была идея о том, что в воде, загрязненной металлами или органическими токсичными веществами, будут сохраняться и расти только устойчивые к этим компонентам микроорганизмы. Эти микроорганизмы можно вырастить в чашке Петри на искусственной среде, добавив в нее исследуемую воду. Чем большее количество колоний микроорганизмов, устойчивых к тем или иным поллютантам, вырастет, тем более загрязненной является исходная морская вода. В результате проведенных исследований было показано существенное загрязнение тяжелыми металлами вод закрытых акваторий, подвергающихся антропогенному прессу (Авачинский залив, устьевые зоны рек Туманная и Рудная, лагуны северо-востока о. Сахалин, где происходит добыча нефти и газа и др.). Чувствительность метода позволила выявить апвеллинг в открытых водах Авачинского залива, предварительно обозначенного с помощью мониторинговых исследований [32]. При участии Надежды Константиновны на кафедре экологии ДВГУ были защищены по данному направлению исследований две докторские диссертации – Г.Ю. Димитриевой и Л.С. Бузолевой, и несколько кандидатских диссертаций – О.А. Дроздовской, И.П. Безвербной, Е.Г. Калитиной, Т.В. Бойченко. Анализ среды на наличие устойчивых к загрязнению микроорганизмов расширяет возможности химической индикации, поскольку даже если химический анализ воды на момент отбора не показал превышения предельно допустимых концентраций поллютантов, но эти токсичные вещества в данном местообитании перманентно присутствуют, то они будут выявлены с помощью микробной индикации.

Большой интерес у Н.К. Христофоровой, при организации мониторинговых исследований в зал. Петра Великого, вызывали акватории, отличающиеся уникальными природными условиями и высоким биоразнообразием, но ежегодный мониторинг которых не осуществляется в рамках Единой Государственной Системы Мониторинга (ЕГСМ) Российской Федерации. Так, в 1997–1999 гг. были проведены исследования в юго-западной части ЗПВ – в зал. Посъета, в приустьевой зоне р. Туманная и в акватории Дальневосточного морского заповедника. Особое внимание обращалось на концентрацию в воде фенолов, высокое содержание которых характеризует поступление в прибрежные воды промышленных и сельскохозяйственных стоков, и СПАВ (синтетических поверхностно-активных веществ), источником которых являются коммунально-бытовые сточные воды, а также легко окисляющихся органических веществ антропогенного и природного происхождения, количество которых определяется по такому интегральному показателю, как пятисуточное биохимическое потребление кислорода (БПК₅). Было показано, что наибольшие концентрации СПАВ, фенолов и уровни БПК₅ выявлялись в приустьевой зоне р. Туманная. В летний сезон при умеренных южных и юго-западных ветрах полоса вод с повышенными концентрациями поллютантов простиралась от устья реки до акватории южного участка ДВМБГПЗ. Также повышенные концентрации СПАВ и фенолов были выявлены в водах б. Экспедиции зал. Посъета [10].

В 2003–2004, 2017, 2022 гг. исследования в данных акваториях были продолжены. Комплексный химико-экологический и микробиологический анализ показал, что обследованные акватории характеризуются незначительным смешанным типом загрязнения. По численности металл-резистентных микроорганизмов было установлено, что воды Дальневосточного морского заповедника на самом юго-западе зал. Петра Великого теперь являются довольно чистыми.

В течение многих лет Надеждой Константиновной организовывались сезонные гидрохимические и микробиологические исследования в зал. Восток. Часть акватории этого залива, включая бухты Средняя, Тихая заводь, Восток и Литовка, занимает Государственный природный комплексный морской заказник «Залив Восток». В юго-западной части залива, в б. Гайдамак, находится порт и береговые предприятия рыбной промышленности. В летнее время на побережье наблюдается приток отдыхающих, активно осваивается и застраивается береговая линия. При этом регулярные наблюдения Приморским УГМС, как, например, в соседнем зал. Находка, здесь не ведутся. Особое внимание в гидрохимических исследованиях уделялось показателю БПК₅ и содержанию в воде минеральной и органической форм фосфора, по соотношению которых можно судить об изменении продукционно-деструкционных процессов в экосистеме в разные сезоны. Регулярно в летний сезон в отдельных районах залива выявляли высокую численность бактерий группы кишечной палочки, а также увеличение количества бактерий – деструкторов нефти, дизельного топлива и фенолов [11, 33, 34].

Во всех районах проведения прибрежных экспедиций экологами ДВФУ комплекс гидрохимических и эколого-микробиологических исследований выполнялся под руководством Н.К. Христофоровой. С 2020 по 2023 г. в состав коллектива, работающего в прибрежных акваториях ЗПВ вместе с Надеждой Константиновной, вошли сотрудники Международной кафедры ЮНЕСКО «Морская экология» Института Мирового океана (Школы) ДВФУ, в которую преобразовалась кафедра экологии ДВГУ: к.б.н., доцент, заведующая кафедрой Ю.А. Галышева; к.б.н., доцент Т.В. Бойченко; к.б.н., доцент Е.В. Журавель; к.б.н., доцент А.В. Радовец; старший преподаватель А.Д. Пелех (Кобзарь). Вместе с коллективом ДВФУ в этих комплексных экспедициях активно работал с.н.с. лаборатории физической океанологии Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева ДВО РАН к.т.н. А.Ю. Лазарюк (рис. 3, 4). В 2020–2021 гг. были выполнены исследования в восточной части Дальневосточного морского заповедника, в заливах Уссурийский, Амурский и Восток. Результатом стало более десятка выпускных квалификационных работ студентов-экологов, окончивших бакалавриат и магистратуру ДВФУ, издание науч-



Рис. 3. Экспедиционные работы ДВФУ в зал. Восток, май 2021 г., МБС ННЦМБ ДВО РАН «Восток»: фото слева – профессор Н.К. Христофорова и доцент Т.В. Бойченко, фото справа – профессор Н.К. Христофорова и ее студенты (фото Т.В. Бойченко)

Fig. 3. FEFU expeditionary work in Vostok Bay, May 2021, “Vostok” Marine Biological Station of the National Scientific Center of Marine Biodiversity, FEB RAS: on the left - professor N.K. Khristoforova and associate professor T.V. Boychenko; on the right - professor N.K. Khristoforova and her students (photo by T.V. Boychenko)

ных статей [35, 36]. Последняя, опубликованная при жизни Н.К. Христофоровой, статья также была посвящена исследованиям в зал. Восток и отражала влияние климатических факторов на межсезонные изменения гидролого-гидрохимических и микробиологических показателей [37].

В эти же годы возрос интерес к акваториям, имеющим важное экономическое значение и испытывающим существенный антропогенный пресс (заливы Уссурийский и Амурский, Находка и др.), обусловленный как научными, так и коммерческими целями. Исследова-



Рис. 4. Экспедиционные работы ДВФУ и ТОИ ДВО РАН в Амурском заливе, май 2022 г. Слева направо: студенты магистратуры М.А. Беланов, А.Д. Боровкова, с.н.с. А.Ю. Лазарюк, профессор Н.К. Христофорова, доцент Т.В. Бойченко, студент бакалавриата С.Е. Оскерко. Фото Т.В. Бойченко

Fig. 4. Expeditionary work of FEFU and Pacific Oceanological Institute, FEB RAS in Amur Bay, May 2022. From left to right: master's students M.A. Belanov, A.D. Borovkova, senior researcher A.Yu. Lazaryuk, professor N.K. Khristoforova, associate professor T.V. Boychenko, undergraduate student S.E. Oskerko. Photo T.V. Boychenko

ния проводились в 2004–2005, 2007, 2014, 2017–2018, 2021–2022 гг. [38, 39]. В результате были сделаны оценки степени и характера загрязнения акваторий. Так, было выявлено, что воды заливов Амурский и Находка характеризовались смешанным типом загрязнения с преобладанием накопления органического вещества над его деструкцией. На биологическое загрязнение вод указывала высокая численность бактерий санитарно-показательной группы, превышающая ПДК, а на активность растительных сообществ – присутствие в больших количествах фенол-резистентных микроорганизмов. Нефтяное загрязнение было выявлено только вблизи источников поступления нефтеуглеводородов.

Микроэлементный состав тихоокеанских лососей

Исследования минерального состава двустворчатых моллюсков-обрастателей, собранных с буев в районе Курильских проливов, проведенные Надеждой Константиновной с коллегами еще в начале 1980-х гг., показали интересные результаты. Было выявлено, что импактность Курило-Камчатского района, обусловленная его вулканизмом, поствулканизмом и апвеллингами, отражается на прикрепленных гидробионтах, при этом повышенные концентрации токсичных металлов – Pb и Cd в мягкой части моллюсков приближались к предельно допустимым уровням. Зная особенности экологии тихоокеанских лососей и их миграционные пути, проходящие из Охотского моря через Курильские проливы в сторону открытого океана и обратно, возникла идея проверить, насколько специфика этой зоны, богатой биогенами и пищевыми организмами, отразится на тихоокеанских лососях – типичных представителях нектона, обитающих в верхней 50-метровой зоне эпипелагиали. Поскольку миграционные пути лососей проходят как минимум дважды в их жизни через высококормную зону в районе Курило-Камчатского желоба, Надежда Константиновна с коллегами предположили, что геохимическая специфика региона может повлиять на микроэлементный состав рыб.

По личной просьбе Н.К. Христофоровой из океанических вод в северо-западной части Тихого океана в относительно близком к Курильским островам районе (46°39' с.ш., 163°38' в.д.) во время учетной экспедиции ТИНРО-центра в конце июля 2013 г. для исследований были собраны и доставлены в г. Владивосток по три экземпляра самок и самцов горбуши и кеты. Этим было положено начало работ по исследованию микроэлементного состава лососей рода *Oncorhynchus* из морей северо-западной части Тихого океана.

Для подтверждения первых полученных результатов, показавших повышенные концентрации Pb и Cd в органах и тканях горбуши и кеты, в 2016 и 2018 гг. были собраны лососи, вернувшиеся в родные реки на побережье о. Итуруп и юго-восточной части о. Сахалин (зал. Терпения). Концентрации в тканях и особенно в печени рыб подтвердили предположение о том, что воздействие на организмы в импактных зонах распространяется не только на малоподвижных обрастателей, но и на крупных быстрых представителей нектона – лососей, определенное время остающихся кормиться в высокопродуктивном Курило-Камчатском районе [40].

После исследования горбуши и кеты из Охотского моря в течение нескольких лет были собраны и обработаны пробы этих видов, а также других представителей рода *Oncorhynchus* – симы, кеты и горбуши из Японского и Охотского морей, кижуча и нерки из Охотского и Берингова, а также акклиматизированной горбуши из Баренцева и Белого морей. В результате выявлена геохимическая специфика регионов, обусловленная не только техногенным воздействием, но и природными особенностями [41–44].

Исследования тихоокеанских лососей из различных районов их ареала в морях северо-западной Пацифики и Евро-Арктики продолжаются. По результатам этих исследований, как стало понятно, возможно не только проводить биомониторинг среды, но и отслеживать принадлежность лососей к различным популяционным группировкам, отличающимся районами нагула и миграций.

Геоэкологические исследования в Еврейской автономной области

В 2001 г. началось сотрудничество Надежды Константиновны с Биробиджанским государственным педагогическим институтом (ныне Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема). За 23 года работы в этом университете Н.К. Христофорова основала научную школу «Экологические факторы среды и здоровье населения» и руководила ею до 2024 г. У Надежды Константиновны появились новые ученики – аспиранты и соискатели Е.А. Григорьева, С.И. Крохалева, М.С. Антонова, Е.О. Клинская, В.П. Макаренко, И.Л. Ревуцкая, О.В. Суриц, Д.Г. Бондарева и Е.С. Турбина. Все они успешно защитили кандидатские диссертации. Надежда Константиновна со своими учениками проводила разноплановые исследования, но основной целью научной школы являлась оценка качества окружающей среды Еврейской автономной области, в частности изучение биогеохимических особенностей, антропогенных факторов среды и их влияния на здоровье населения ЕАО.

Надежда Константиновна инициировала работы по исследованию качества воздуха, поверхностных и подземных вод, почвы, биоты и снега (как индикатора загрязнения атмосферы) по содержанию в них тяжелых металлов – Fe, Mn, Ni, Pb, Cu, Zn, Co, Cd, Hg. В результате были выявлены зависимости между избытком или недостатком этих элементов в окружающей среде и заболеваемостью населения области.

По мере накопления новых научных данных росло убеждение в необходимости обобщить полученную информацию, осмыслить ее с интегральных позиций, рассмотреть многофакторное воздействие на среду, на здоровье людей, выявить приоритетные факторы и предложить меры, уменьшающие негативное влияние условий среды обитания на здоровье населения области. В результате в 2012 г. под редакцией Н.К. Христофоровой вышла монография «Еврейская автономная область как биогеохимическая провинция» [45], затем монография «Среда жизни и здоровье населения (на примере Еврейской автономной области)» [46] и учебное пособие [47]. В своих работах Надежда Константиновна с учениками обобщила данные о территории области как о зональной биогеохимической провинции, дефицитной по I, F, Ca, Mg, Cu, Se и избыточной по Fe и Mn. Анализ заболеваемости жителей разных районов ЕАО в связи с биогеохимической аномалией и мер по профилактике элемент-дефицитных состояний стали основой для разработки рекомендаций по снижению влияния дефицита и избытка элементов на здоровье населения.

Современные научные направления, которые реализуются научной школой Надежды Константиновны, продиктованы временем. Первое направление – это оценка качества среды на особо охраняемых природных территориях (так называемых фоновых) и на импактном полигоне – городской территории [48]. С 2011 г. и по настоящее время совместно с заповедником «Бастак» проводится работа в рамках темы «Физико-химический анализ атмосферных взвесей заповедника Бастак и г. Биробиджана». В атмосферных взвешах современных городов, в отличие от заповедников, содержится большое количество техногенных частиц. Однако по мере увеличения техногенного воздействия на атмосферу Земли в целом наблюдается рост выпадения техногенной взвеси и на заповедных территориях [49].

Второе направление – изучение геохимии марганца и его соединений. В 2018 г. начаты работы по теме «Марганец в окружающей среде Еврейской автономной области» [50, 51], что является актуальным для ЕАО, поскольку уже ведется разработка и добыча железо-марганцевых руд в районе Биджанского месторождения на северо-западе области. Ожидается также разработка Южно-Хинганского месторождения, расположенного в Октябрьском районе. В настоящее время данных о геохимии марганца в окружающей среде недостаточно, поэтому целесообразно проведение исследований о распространении этого элемента, его разное по гидросети, смене форм миграции в связи с заболоченностью территории, а также возможным негативном влиянии на водные организмы.

Надежда Константиновна четко обозначила перспективы исследований для научной школы: продолжить изучение содержания и форм миграции марганца, меди, селена и радона в окружающей среде [46, 47].

Заключение

Научная деятельность Н.К. Христофоровой была посвящена различным направлениям экологических исследований и охватывала несколько уровней организации живого вещества биосферы – от организменного и популяционного до экосистемного и глобального. Надежда Константиновна сама активно участвовала в экспедициях, в полевых условиях выполняла отбор, пробоподготовку, а порой и химический анализ параметров водной среды. Каждого из своих студентов и аспирантов она старалась брать с собой «в поле», чтобы научить правильно работать, отмечать важные факторы окружающей среды и чувствовать природу.

Согласно данным научной электронной библиотеки elibrary, список публикаций Надежды Константиновны включает 360 работ, из них 208 статей в рецензируемых журналах, 6 монографий и 4 учебника, один из которых переиздавался три раза. За свою долгую и плодотворную научную и педагогическую жизнь Н.К. Христофорова была научным руководителем и консультантом при защите 65 кандидатских и 14 докторских диссертаций. Надежда Константиновна – почетный профессор Дальневосточного государственного университета. Ей также присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки Российской Федерации» (2002 г.), за заслуги в области образования – «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации» (2012 г.). В 2019 г. Надежда Константиновна удостоена премии «Профессор года» в номинации «Биологические науки» учрежденной Российским профессорским собранием, в 2021 г. – премии ДВО РАН им. акад. И. П. Дружинина.

О результатах экологического мониторинга состояния как водных, так и наземных экосистем Дальневосточных регионов России Надежда Константиновна регулярно докладывала на конференциях и симпозиумах разного уровня, также она занималась экологическим воспитанием населения через лекции и практические занятия со студентами вузов и учителями среднеобразовательных школ, выступала на телевидении в программах, посвященных острым экологическим проблемам. Активная гражданская позиция Н.К. Христофоровой в восстановлении и сохранении высокого качества окружающей природной среды способствовала постепенному изменению ранее критических ситуаций в сторону их улучшения через внедрение ресурсосберегающих технологий на производствах, строительство в регионе сооружений по очистке сточных вод, рекультивацию полигонов отходов, активизацию международного сотрудничества в области охраны природы.

Поскольку мониторинг состояния компонентов окружающей среды с целью поддержания здоровья населения и стабильности экосистем нужно проводить регулярно, то данные, полученные Надеждой Константиновной в ходе научных исследований, будут служить основой для будущих наблюдений и экологических оценок. Память о нашем учителе, ее уроки мы пронесем через всю жизнь и передадим своим ученикам.

Литература

1. Христофорова Н.К. Биоиндикация загрязнения морских вод тяжелыми металлами: автореф. дис... д-ра. биол. наук. М., 1985. 53 с.
2. Христофорова Н.К. Биоиндикация и мониторинг загрязнения морских вод тяжелыми металлами. Л.: Наука, 1989. 192 с.
3. Кобзарь А.Д., Христофорова Н.К. Мониторинг загрязнения бухты Рудная (Японское море) по содержанию тяжелых металлов в бурых водорослях // Биология моря. 2019. Т. 45, № 2. С. 133–140.
4. Христофорова Н.К. Экологические проблемы региона: Дальний Восток – Приморье. Учебное пособие. Владивосток; Хабаровск: Хабаровск. кн. изд-во, 2005. 304 с.

5. Коженкова С.И., Христофорова Н.К., Чернова Е.Н. Долговременный мониторинг загрязнения морских вод северного Приморья тяжелыми металлами с помощью бурых водорослей // Экология. 2000. № 3. С. 233–237.
6. Шулькин В.М., Коженкова С.И., Чернова Е.Н., Христофорова Н.К. Металлы в различных компонентах прибрежных морских экосистем Сихотэ-Алинского биосферного района // Геоэкология. 2003. № 4. С. 318–327.
7. Христофорова Н.К., Кобзарь А.Д. Бурые водоросли-макрофиты как индикаторы загрязнения вод бухты Рудной тяжелыми металлами // Известия ТИНРО. 2012. Т. 168. С. 220–231.
8. Христофорова Н.К., Коженкова С.И., Чернова Е.Н. Долговременный биомониторинг загрязнения тяжелыми металлами северо-западной части Японского моря // Материалы XVI Совещания географов Сибири и Дальнего Востока. Владивосток: ТИГ ДВО РАН, 2021. С. 306–309.
9. Христофорова Н.К., Богданова Н.Н., Толстова Л.М. Металлы в составе тихоокеанских саргассовых водорослей в связи с проблемой мониторинга загрязнения вод // Океанология. 1983. Т. 23, вып. 2. С. 270–275.
10. Христофорова Н.К., Журавель Е.В., Недоросткова И.Г. Химико-экологическое состояние юго-западной части залива Петра Великого: детергенты, фенолы, БПК₅ // Проблемы региональной экологии. 2000. № 4. С. 5–15.
11. Христофорова Н.К., Журавель Е.В., Григорьева Н.И., Чернова Е.Н., Рисунова М.А. Оценка качества вод залива Восток Японского моря // Проблемы региональной экологии. 2001. № 2. С. 59–69.
12. Коженкова С.И., Христофорова Н.К., Чернова Е.Н., Кобзарь А.Д. Долговременный биомониторинг загрязнения Уссурийского залива Японского моря тяжелыми металлами // Биология моря. 2021. Т. 47, № 4. С. 235–243.
13. Коженкова С.И., Христофорова Н.К. Биомониторинг содержания тяжелых металлов в морских прибрежных водах юго-западной части залива Петра Великого с использованием бурых водорослей // Экологическое состояние и биота юго-западной части залива Петра Великого и устья реки Туманной. Владивосток: Дальнаука, 2002. Т. 3. С. 33–41.
14. Христофорова Н.К., Пелех (Кобзарь) А.Д., Колышкина А.В. Тяжелые металлы в бурых водорослях залива Восток // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. Материалы XXI Междунар. науч. конф. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2020. С. 327–341.
15. Чернова Е.Н., Коженкова С.И. Пространственная оценка загрязнения залива Петра Великого (Японское море) металлами с помощью бурой водоросли *Sargassum miyabei* // Океанология. 2020. Т. 60, № 1. С. 49–56.
16. Чернова Е.Н., Христофорова Н.К., Вышкварцев Д.И. Тяжелые металлы в морских травах и водорослях залива Посёта Японского моря // Биология моря. 2002. Т. 28, № 6. С. 425–430.
17. Шишлова М.А. Зостера морская (*Zostera marina* L.) как индикатор загрязнения среды тяжелыми металлами // Дис. ... канд. биол. наук. Владивосток, 2002. 145 с.
18. Христофорова Н.К., Чернова Е.Н. Сравнение содержания тяжелых металлов в бурых водорослях и морских травах // Доклады АН РАН. 2005. Т. 400, № 4. С. 571–573.
19. Кокековдова Л.Т., Христофорова Н.К. Микроэлементы в морских макрофитах Дальнего Востока России // Успехи наук о жизни. 2011. № 3. С. 41–60.
20. Бойченко Е.А., Удельнова Т.М. Взаимодействие металлов в эволюции фотоавтотрофных организмов биосферы // Актуальные вопросы современной палеоэкологии. Киев: Наук. думка, 1986. С. 11–14.
21. Кавун В.Я., Христофорова Н.К. О влиянии природы субстрата на содержание тяжелых металлов в мягких тканях съедобной мидии // Биология моря. 1987. Т. 13, № 3. С. 3–8.
22. Христофорова Н.К., Кавун В.Я. Мониторинг состояния вод дальневосточных морей по мидиям-обрастателям навигационных буев // Доклады АН СССР. 1988. Т. 300, № 5. С. 1274–1276.
23. Христофорова Н.К., Шулькин В.М., Кавун В.Я., Чернова Е.Н. Тяжелые металлы в промысловых и культивируемых моллюсках залива Петра Великого. Владивосток: Дальнаука, 1993. 296 с.
24. Христофорова Н.К., Кавун В.Я., Латыпов Ю.Я., Тиен Д.Д., Журавель Е.В., Туэн Н.Х. Содержание металлов в массовых видах двусторчатых моллюсков залива Ха Лонг (Южно-Китайское море, Вьетнам) // Океанология. 2007. Т. 47, № 5. С. 736–741.
25. Kavun V.Ya., Shulkin V.M., Khristoforova N.K. Metal accumulation in mussels of the Kuril Islands, North-West Pacific Ocean // Marine Environmental Research. 2002. Vol. 53 (3). P. 219–226.
26. Kavun V.Y., Yurchenko O.V., Podgurskaya O.V. Integrated assessment of the acclimation capacity of the marine bivalve *Crenomytilus grayanus* under naturally highly contaminated conditions: subcellular distribution of trace metals and structural alterations of nephrocytes // Science of the Total Environment. 2020. Vol. 734. P. 139015.
27. Христофорова Н.К., Дюрдеева А.А., Масалева К.Р., Чернова Е.Н. Тяжелые металлы в долгоживущих Mutilidae (Mollusca: Bivalvia) залива Восток, Японское море, Приморский край // Биота и среда природных территорий, 2024. Т. 12, № 2. С. 77–86.
28. Христофорова Н.К., Гнетецкий А.В. Содержание тяжелых металлов в долгоживущих митилидах Уссурийского залива Японского моря // Биология моря. 2022. № 1. С. 30–37.
29. Власова Г.А., Христофорова Н.К. Действие кадмия на ранний онтогенез морского ежа *Strongylocentrotus intermedius* // Биология моря. 1982. № 4. С. 31–36.
30. Тюрин А.Н., Христофорова Н.К. Выбор тестов для оценки загрязнения морской среды // Биология моря. 1995. Т. 21, № 3. С. 320–327.
31. Журавель Е.В., Маркина Ж.В., Христофорова Н.К., Айздайчер Н.А. Использование микроводоросли *Dunaliella salina*, эмбрионов и личинок плоского морского ежа *Scaphechinus mirabilis* как тест-организмов для оценки качества воды в заливе Петра Великого Японского моря // Биология моря. 2006. Т. 32, № 3. С. 188–196.

32. Димитриева Г.Ю., Безвербная И.П., Христофорова Н.К. Микробная индикация – возможный подход для мониторинга тяжелых металлов в дальневосточных морях // Известия ТИНРО. 2001. Т. 128-3. С. 719–736.
33. Христофорова Н.К., Журавель Е.В., Миронова Ю.А. Рекреационное воздействие на залив Восток (Японское море) // Биология моря. 2002. Т. 28, № 4. С. 300–303.
34. Галышева Ю.А., Христофорова Н.К., Среда и макробентос залива Восток Японского моря в условиях рекреационного воздействия // Известия ТИНРО. 2007. Т. 149. С. 270–309.
35. Христофорова Н.К., Бойченко Т.В., Кобзарь А.Д. Гидрохимическая и микробиологическая оценка современного состояния вод залива Восток // Вестник ДВО РАН. 2020. № 2 (210). С. 64–72.
36. Лазарюк А.Ю., Радовец А.В., Христофорова Н.К. Влияние тайфуна Майсак на экологическую ситуацию в материковых прибрежьях Дальневосточного морского заповедника в сентябре 2020 г. (Приморский край, Россия) // Биота и среда природных территорий. 2021. № 4. С. 85–101.
37. Христофорова Н.К., Лазарюк А.Ю., Журавель Е.В., Бойченко Т.В., Емельянов А.А. Залив Восток: межсезонные изменения гидролого-гидрохимических и микробиологических показателей // Известия ТИНРО. 2023. Т. 203, № 4. С. 906–924.
38. Бойченко Т.В., Христофорова Н.К., БузOLEVA Л.С. Микробная индикация прибрежных вод вершинной части Амурского залива // Известия ТИНРО, 2009. Т. 158. С. 1–9.
39. Христофорова Н.К., Лазарюк А.Ю., Бойченко Т.В., Емельянов А.А. Ранневесеннее опробование качества среды бухты Новик (о. Русский, зал. Петра Великого, Японское море) в апреле 2023 г. // Известия ТИНРО. 2023. Т. 203, № 3. С. 639–649.
40. Литвиненко А.В., Христофорова Н.К., Цыганков В.Ю. Влияние мест нагула на содержание тяжелых металлов в горбуше (*Oncorhynchus gorbuscha*, Salmonidae) // Вестник Камчатского технического государственного университета. 2022. № 62. С. 52–78.
41. Khristoforova N.K., Litvinenko A.V., Tsygankov V.Yu., Kovalchuk M.V. Comparative characteristics of the trace elemental composition of Chum Salmon (*Oncorhynchus keta* Walbaum, 1792) from the Sea of Japan and the Sea of Okhotsk // Marine Biological Journal. 2021. Vol. 6 (4). P. 92–104.
42. Khristoforova N.K., Litvinenko A.V., Alekseev M.Yu., Tsygankov V.Yu. Heavy metal content in Pink salmon from the Euro-Arctic and Sakhalin-Kuril Regions // European Proceedings of Social and Behavioural Sciences. 2022. Vol. 126. P. 476–488.
43. Khristoforova N.K., Litvinenko A.V., Alekseev M.Yu., Tsygankov V.Yu. Trace element content in the Pink salmon from the rivers of the Barents and Okhotsk seas basins // Russian Journal of Biological Invasions. 2023. V. 14 (4). P. 645–657.
44. Христофорова Н.К., Литвиненко А.В., Алексеев М.Ю., Цыганков В.Ю. Микроэлементный состав горбуши из рек баренцевоморского и охотоморского бассейнов // Российский журн. биологических инвазий. 2023. № 2. С. 272–287.
45. Клинская Е.О., Суриц О.В., Бондарева Д.Г., Антонова М.С. Еврейская автономная область как биогеохимическая провинция / Под общ. ред. Н.К. Христофоровой. Биробиджан: Изд-во Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема, 2012. 249 с.
46. Клинская Е.О., Христофорова Н.К. Среда жизни и здоровье населения (на примере Еврейской автономной области). Биробиджан: Изд-во Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема, 2014. 216 с.
47. Клинская Е.О., Антонова М.С., Бондарева Д.Г., Суриц О.В., Христофорова Н.К., Поляков В.Ю. Химические элементы в окружающей среде Еврейской автономной области. Биробиджан: Изд-во Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема, 2014. 203 с.
48. Ревуцкая И.Л., Христофорова Н.К., Лонкина Е.С. Экологический мониторинг атмосферных осадков (снега) в заповеднике «Бастак» // Региональные проблемы. 2022. Т. 25, № 2. С. 62–64.
49. Голохваст К.С., Ревуцкая И.Л., Лонкина Е.С., Памирский И.Э., Гульков А.Н., Христофорова Н.К. Характеристика состава атмосферных взвесей государственного заповедника «Бастак» // Экология человека. 2013. № 5. С. 24–28.
50. Суриц О.В., Христофорова Н.К., Копылов П.В., Бондарева Д.Г. Оценка содержания железа и марганца в питьевых водах Еврейской автономной области // Здоровье населения и среда обитания. 2014. № 4 (253). С. 24–26.
51. Ревуцкая И.Л., Христофорова Н.К., Суриц О.В. Марганец в гидросфере Еврейской автономной области: поверхностные воды // Вестник евразийской науки. 2020. Т. 12, № 6. С. 2.

References

1. Khristoforova, N.K. Bioindication of sea water pollution with heavy metals. Abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Biological Sciences. Moscow, Russia, 1985; 53 p. (In Russian)
2. Khristoforova, N.K. Bioindication and monitoring of sea water pollution with heavy metals. Nauka: Leningrad, Russia, 1989; 192 p. (In Russian)
3. Kobzar, A.D.; Khristoforova, N.K. Monitoring the pollution of Rudnaya Bay (Sea of Japan) based on the heavy metal content of brown algae. *Russian Journal of Marine Biology*. 2019, 45(2), 152–158.

4. Khristoforova, N.K. Environmental problems of the region: Far East - Primorye. Khabarovsk book publishing house: Vladivostok, Khabarovsk, Russia, 2005; 304 p. (In Russian)
5. Kozhenkova, S.I.; Khristoforova, N.K.; Chernova, E.N. Long-term monitoring of sea water pollution by heavy metals in Northern Primorye with the use of brown algae. *Russian Journal of Ecology*. 2000, 31(3), 211-215.
6. Shulkin, V.M.; Kozhenkova, S.I.; Chernova, E.N.; Khristoforova, N.K. Metals in various components of coastal marine ecosystems of the Sikhote-Alin Biosphere Region. *Geoecology*. 2003, 4, 318-327. (In Russian)
7. Khristoforova, N.K.; Kobzar, A.D. Brown algae as indicators of water pollution by heavy metals in the Rudnaya Bay (Japan Sea). *Izvestiya TINRO*. 2012, 168, 220-231. (In Russian)
8. Khristoforova, N.K.; Kozhenkova, S.I.; Chernova, E.N. Long-term biomonitoring of heavy metal pollution in the northwestern Sea of Japan. In *Proceedings of the XVI Meeting of Geographers of Siberia and the Far East*. PGI FEB RAS: Vladivostok, Russia, 2021, 306-309. (In Russian)
9. Khristoforova, N.K.; Bogdanova, N.N.; Tolstova, L.M. Metals present in *Sargassum* (brown) algae of the Pacific Ocean as related to the problem of water pollution monitoring. *Oceanology*. 1983, 23 (2), 270-275. (In Russian)
10. Khristoforova, N.K.; Zhuravel, E.V.; Nedorostkova, I.G. Chemical-ecological state of the southwestern part of Peter the Great Bay: detergents, phenols, BOD₅. *Problems of regional ecology*. 2000, 4, 5-15. (In Russian)
11. Khristoforova, N.K.; Zhuravel, E.V.; Grigorieva, N.I.; Chernova, E.N.; Risunova, M.A. Assessment of water quality in the Vostok Bay of the Sea of Japan. *Problems of regional ecology*. 2001, 2, 59-69. (In Russian)
12. Kozhenkova, S.I.; Khristoforova, N.K.; Chernova, E.N.; Kobzar A.D. Long-term biomonitoring of heavy metal pollution of Ussuri Bay, Sea of Japan. *Russian Journal of Marine Biology*. 2021, 47 (4), 256-264.
13. Kozhenkova, S.I.; Khristoforova, N.K. Biomonitoring of heavy metal content in the coastal waters of southwestern Peter the Great Bay using brown algae. In *The state of environment biota of the southwestern part of Peter the Great Bay and the Tumen River mouth*; Dalnauka: Vladivostok, Russia, 2001, (3), 30-37.
14. Khristoforova, N.K.; Pelekh (Kobzar), A.D.; Kolyshkina, A.V. Heavy metals in brown algae of the Vostok Bay. In *Conservation of biodiversity of Kamchatka and adjacent seas. Proceedings of the XXI International scientific conference*. Kamchatpress: Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, 2020, 327-341. (In Russian)
15. Chernova, E.N.; Kozhenkova, S.I. Spatial assessment of metal contamination in Peter the Great Bay, Sea of Japan, using the brown alga *Sargassum miyabei*. *Oceanology*. 2020, 60(1), 40-46.
16. Chernova, E.N.; Khristoforova, N.K.; Vyshkvartsev, D.I. Heavy metals in seagrasses and algae of Pos'et Bay, Sea of Japan. *Russian Journal of Marine Biology*. 2002, 28(6), 387-392.
17. Shishlova, M.A. Seagrass (*Zostera marina* L.) as an indicator of environmental pollution with heavy metals. Dissertation for the degree of candidate of biological sciences. Vladivostok, Russia, 2002; 145 p.
18. Khristoforova, N.K.; Chernova, E.N. Comparison of the content of heavy metals in brown algae and seagrasses. *Doklady Biological Sciences*. 2005, 400(1-6), 61-63.
19. Kovekovdova, L.T.; Khristoforova, N.K. Trace elements in marine macrophytes of the Russian Far East. *Achievements of life sciences*. 2011, 3, 41-60. (In Russian)
20. Boychenko, E.A.; Udelnova, T.M. Interaction of metals in the evolution of photoautotrophic organisms in the biosphere. In *Current issues of modern paleoalgology*. Naukova Dumka: Kyiv, USSR, 1986, 11-14. (In Russian)
21. Kavun, V.Ya.; Khristoforova, N.K. On the influence of substrate properties on the concentration of heavy metals in soft tissues of edible mussels. *Russian Journal of Marine Biology*. 1987, 13(3), 3-8. (In Russian)
22. Khristoforova, N.K.; Kavun, V.Y. Monitoring the state of the waters of Far East seas using mussels growing on navigational buoys. *Doklady Biological Sciences*. 1988, 300(1-6), 231-233.
23. Khristoforova, N.K.; Shulkin, V.M.; Kavun, V.Ya.; Chernova, E.N. Heavy metals in commercial and cultivated shellfish of the Peter the Great Bay. Dalnauka: Vladivostok, Russia, 1993; 296 p. (In Russian)
24. Khristoforova, N.K.; Kavun, V.Ya.; Latypov, Yu.Ya.; Zhuravel, E.V.; Tien, D.D.; Tuyan, N.X. Heavy metals in mass species of bivalves in Ha Long Bay (South China Sea, Vietnam). *Oceanology*. 2007, 47(5), 685-690.
25. Kavun, V.Ya.; Shulkin, V.M.; Khristoforova, N.K. Metal accumulation in mussels of the Kuril Islands, North-West Pacific Ocean. *Marine Environmental Research*. 2002, 53(3), 219-226.
26. Kavun, V.Y.; Yurchenko, O.V.; Podgurskaya, O.V. Integrated assessment of the acclimation capacity of the marine bivalve *Crenomytilus grayanus* under naturally highly contaminated conditions: subcellular distribution of trace metals and structural alterations of nephrocytes. *Science of the Total Environment*. 2020, 734, 139015.
27. Khristoforova, N.K.; Dyurdeeva, A.A.; Masalyova, K.R.; Chernova, E.N. Heavy metals in long-lived Mytilidae (Mollusca: Bivalvia) Vostok Bay, Sea of Japan, Primorsky Krai. *Biota and environment of natural areas*. 2024, 12(2), 77-86. (In Russian)
28. Khristoforova, N.K.; Gnetetskiy A.V. The contents of heavy metals in long-lived mytilids from Ussuriysky Bay. *Russian Journal of Marine Biology*. 2022, 48(1), 26-32.
29. Vlasova, G.A.; Khristoforova, N.K. Effect of cadmium on early ontogenesis of sea urchin *Strongylocentrotus intermedius*. *Russian Journal of Marine Biology*. 1982, 4, 31-36. (In Russian)
30. Tyurin, A.N.; Khristoforova, N.K. A choice of tests for the evaluation of environmental marine pollution. *Russian Journal of Marine Biology*. 1995, 21(6), 315-322.
31. Zhuravel, E.V.; Markina, Zh.V.; Aizdaicher, N.A.; Khristoforova, N.K. Bioretesting of water quality in Peter the Great Bay with the use of the microalga *Dunaliella salina* and embryos and larvae of the sea urchin *Scaphechinus mirabilis*. *Russian Journal of Marine Biology*. 2006, 32(3), 157-165.

32. Dimitrieva, G.Yu.; Bezverbnaya, I.P.; Khristoforova, N.K. Microbial indication as possible approach for heavy metals monitoring in Far Eastern seas. *Izvestiya TINRO*. 2001, 128-3, 719-736. (In Russian)
33. Khristoforova, N.K.; Zhuravel, E.V.; Mironova, Yu.A. Recreational effects in Vostok Bay, Sea of Japan. *Russian Journal of Marine Biology*. 2002, 28(4), 274-277.
34. Galysheva, Yu.A.; Khristoforova, N.K. Environments and macrobenthos in the Vostok Bay (Japan Sea) in conditions of anthropogenic impact. *Izvestiya TINRO*. 2007, 149, 270-309. (In Russian)
35. Khristoforova, N.K.; Boychenko, T.V.; Kobzar A.D. Hydrochemical and microbiological assessment of the current state of the Vostok Bay. *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2020, 2, 64-72. (In Russian)
36. Lazaryuk, A.Yu.; Radovets, A.V.; Khristoforova, N.K. Environmental impact of typhoon Maysak on the mainland coast of the Far Eastern Marine Biosphere Reserve in September 2020 (Primorsky krai, Russia). *Biota and environment of natural areas*. 2021, 4, 85-101. (In Russian)
37. Khristoforova, N.K.; Lazaryuk, A.Yu.; Zhuravel, E.V.; Boychenko, T.V.; Emelyanov, A.A. Vostok Bay: interseasonal changes in hydrological, hydrochemical and microbiological properties. *Izvestiya TINRO*. 2023, 203(4), 906-924. (In Russian)
38. Boychenko, T.V.; Khristoforova, N.K.; Buzoleva, L.S. Microbial indication of coastal waters in the northern Amur Bay. *Izvestiya TINRO*. 2009, 158, 1-9. (In Russian)
39. Khristoforova, N.K.; Lazaryuk, A.Yu.; Boychenko, T.V.; Emelyanov, A.A. Early spring testing of environments quality in the Novik Bay (Russky Island, Peter the Great Bay, Japan Sea) in April, 2023. *Izvestiya TINRO*. 2023, 203(3), 639-649. (In Russian)
40. Litvinenko, A.V.; Khristoforova, N.K.; Tsygankov, V.Yu. Feeding location influence on the heavy metal content in Pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*, Salmonidae). *Vestnik of Kamchatka Technical State University*. 2022, 62, 52-78. (In Russian)
41. Khristoforova, N.K.; Litvinenko, A.V.; Tsygankov, V.Yu.; Kovalchuk, M.V. Comparative characteristics of the trace elemental composition of Chum Salmon (*Oncorhynchus keta* Walbaum, 1792) from the sea of Japan and the sea of Okhotsk. *Marine Biological Journal*. 2021, 6(4), 92-104.
42. Khristoforova, N.K.; Litvinenko, A.V.; Alekseev, M.Yu.; Tsygankov, V.Yu. Heavy metal content in Pink salmon from the Euro-Arctic and Sakhalin-Kuril Regions. *European Proceedings of Social and Behavioural Sciences*. 2022, 126, 476-488.
43. Khristoforova, N.K.; Litvinenko, A.V.; Alekseev, M.Yu.; Tsygankov, V.Yu. Trace element content in the Pink salmon from the rivers of the Barents and Okhotsk seas basins. *Russian Journal of Biological Invasions*. 2023, 14(4), 645-657.
44. Khristoforova, N.K.; Litvinenko, A.V.; Alekseev, M.Yu.; Tsygankov, V.Yu. Trace element content in the Pink salmon from the rivers of the Barents and Okhotsk seas basins. *Russian Journal of Biological Invasions*. 2023, 2, 272-287. (In Russian)
45. Klinskaya, E.O.; Surits, O.V.; Bondareva, D.G.; Antonova, M.S. Jewish Autonomous Region as a biogeochemical province. Ed. by N.K. Khristoforova. Publishing house of the Sholom Aleichem Priamursky State University: Birobidzhan, Russia, 2012; 249 p. (In Russian)
46. Klinskaya, E.O.; Khristoforova, N.K. Living environment and public health (using the example of the Jewish Autonomous Region). Publishing house of the Sholom Aleichem Priamursky State University: Birobidzhan, Russia, 2014; 216 p. (In Russian)
47. Klinskaya, E.O.; Antonova, M.S.; Bondareva, D.G.; Surits, O.V.; Khristoforova, N.K.; Polyakov, V.Yu. Chemical elements in the environment of the Jewish Autonomous Region. Publishing house of the Sholom Aleichem Priamursky State University: Birobidzhan, Russia, 2014; 203 p. (In Russian)
48. Revutskaya, I.L.; Khristoforova, N.K.; Lonkina, E.S. Environmental monitoring of atmospheric precipitation (snow) in the Bastak Nature Reserve. *Regional problems*. 2022, 25(2), 62-64. (In Russian)
49. Golokhvast, K.S.; Revutskaya, I.L.; Lonkina, E.S.; Pamirskiy, I.E.; Gulkov, A.N.; Khristoforova, N.K. Characteristic of atmospheric suspensions composition in State Reserve "Bastak". *Human ecology*. 2013, 5, 24-28. (In Russian)
50. Surits, O.V.; Khristoforova, N.K.; Kopylov, P.V.; Bondareva, D.G. Assessment of iron and manganese content in drinking-water of Jewish Autonomous Region. *Population health and habitat*. 2014, 4(253), 24-26. (In Russian)
51. Revutskaya, I.L.; Khristoforova, N.K.; Surits, O.V. Manganese in the hydrosphere of the Jewish Autonomous Region: surface water. *Vestnik of Eurasian Science*. 2020, 12(6), 2. (In Russian)

Статья поступила в редакцию 5.07.2024; одобрена после рецензирования 19.08.2024; принята к публикации 30.08.2024.

The article was submitted 5.07.2024; approved after reviewing 19.08.2024; accepted for publication 30.08.2024.