

ISSN 2687-0509

ТИХООКЕАНСКАЯ ГЕОГРАФИЯ



1 (25). 2026

ТИХООКЕАНСКАЯ ГЕОГРАФИЯ

Научный журнал

Учредитель

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Тихоокеанский институт географии
Дальневосточного отделения
Российской академии наук

1 (25). 2026

Журнал основан в 2020 г.

Выходит 4 раза в год

СОДЕРЖАНИЕ

От главного редактора

Юбилеры Тихоокеанского института географии. *А.В. Мошков* 5

Изучение территориальных социально-экономических систем и их компонентов

ДЕМЬЯНЕНКО А.Н., ЯРУЛИН И.Ф. Геополитические факторы социального и экономического развития Дальневосточного макрорегиона (опыт исследования творческого наследия академика РАН П.Я. Бакланова) 13

АНЗУЛИС Я.Е., ПРОКОПЕЦ С.Д., БЕЛОВА И.В., ТЮНЯТКИН Д.Г., ПУТИНЦЕВ Ю.Р. Городище Криничное в Приморье: планиграфия и хронология памятника. Опыт применения методики воздушного лазерного сканирования (LiDAR) 27

Изучение природных геосистем и их компонентов

КОЛОМЫЦ Э.Г. Оценка роли лесов Волжского бассейна в регуляции углеродного цикла при глобальных изменениях климата (эмпирико-имитационный прогнозный анализ) 38

ШАКИРОВ Р.Б., СОКОЛОВА Н.Л., ВЕНИКОВА А.Л., ПОЛОНИК Н.С. Проявления грязевого вулканизма на о. Сахалин: генезис и газогеохимические характеристики 55

ФЕДОРОВСКИЙ А.С. БПЛА в геоэкологических и гидрологических исследованиях 68

СКИРИН Ф.В. Лихеноиндикационная оценка загрязнения приземного воздуха западной оконечности гор Пржевальского на примере ООПТ «Тигровая падь» 83

БОРОВКОВА А.Д., ДОНЕЦ М.М., БЕЛАНОВ М.А., МАСАЛЕВА К.Р., ШЕСТЁРА А.А., ВАСИЛЕНКО Н.Д., ЦЫГАНКОВ В.Ю. Стойкие органические загрязняющие вещества и программа Mussel Watch в Азиатско-Тихоокеанском регионе: краткий обзор 94

ИВАНОВА Е.Д. Особенности фораминиферовых сообществ в подводных ландшафтах прибрежной зоны Юго-Восточного Приморья 105

Правила для авторов 116

Главный редактор
д.г.н., главный научный сотрудник
ФГБУН Тихоокеанский институт географии ДВО РАН
А.В. МОШКОВ

Заместитель главного редактора
К.С. ГАНЗЕЙ – чл.-корр. РАН, д.г.н., директор ТИГ ДВО РАН

Ответственный секретарь
Л.В. ГОРБАТЕНКО – к.г.н., научный сотрудник ТИГ ДВО РАН

Переводчик
А.С. ЛАНКИН – помощник директора по международным связям ТИГ ДВО РАН

Редакционная коллегия:

- | | | |
|-----------------|---|--|
| Бровка П.Ф. | – | д.г.н., профессор Дальневосточного федерального университета (г. Владивосток) |
| Владимиров И.Н. | – | д.г.н., директор Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (г. Иркутск) |
| Воронов Б.А. | – | чл.-корр. РАН, научный руководитель ХФИЦ, Институт водных и экологических проблем ДВО РАН (г. Хабаровск) |
| Гармаев Е.Ж. | – | чл.-корр. РАН, директор Байкальского института природопользования СО РАН (г. Улан-Удэ) |
| Дао Динь Чам | – | профессор, директор Института географии ВАНТ (Вьетнам) |
| Дон Соучен | – | профессор, директор Центра устойчивого развития в Северо-Восточной Азии, Институт географических исследований и природных ресурсов КАН (Китай) |
| Жариков В.В. | – | к.г.н., заместитель директора Тихоокеанского института географии ДВО РАН (г. Владивосток) |
| Качур А.Н. | – | к.г.н., ведущий научный сотрудник Тихоокеанского института географии ДВО РАН (г. Владивосток) |
| Лау Винь Кам | – | профессор, вице-президент Ассоциации азиатских географов (Вьетнам) |
| Махинов А.Н. | – | д.г.н., главный научный сотрудник ХФИЦ, Институт водных и экологических проблем ДВО РАН (г. Хабаровск) |
| Мишина Н.В. | – | к.г.н., научный сотрудник Тихоокеанского института географии ДВО РАН (г. Владивосток) |
| Назаров Н.Н. | – | д.г.н., ведущий научный сотрудник Тихоокеанского института географии ДВО РАН (г. Владивосток) |
| Новиков А.Н. | – | д.г.н., профессор Забайкальского государственного университета (г. Чита) |
| Осипов С.В. | – | д.б.н., главный научный сотрудник Тихоокеанского института географии ДВО РАН (г. Владивосток) |
| Паничев А.М. | – | д.б.н., ведущий научный сотрудник Тихоокеанского института географии ДВО РАН (г. Владивосток) |
| Пиньюй Чжан | – | профессор, заместитель директора Института географии и агроэкологии КАН (Китай) |
| Плетнев С.П. | – | д.г.н., ведущий научный сотрудник Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева ДВО РАН (г. Владивосток) |
| Плюснин В.М. | – | д.г.н., научный руководитель Института географии СО РАН (г. Иркутск) |
| Разжигаева Н.Г. | – | д.г.н., главный научный сотрудник Тихоокеанского института географии ДВО РАН (г. Владивосток) |
| Ткаченко Г.Г. | – | к.г.н., старший научный сотрудник Тихоокеанского института географии ДВО РАН (г. Владивосток) |
| Чибилев А.А. | – | академик РАН, научный руководитель Института степи УрО РАН (г. Оренбург) |
| Шамов В.В. | – | д.г.н., главный научный сотрудник Тихоокеанского института географии ДВО РАН (г. Владивосток) |
| Шведов В.Г. | – | д.г.н., ведущий научный сотрудник Тихоокеанского института географии ДВО РАН (г. Владивосток) |
| Шулькин В.М. | – | д.г.н., главный научный сотрудник Тихоокеанского института географии ДВО РАН (г. Владивосток) |

PACIFIC GEOGRAPHY

Scientific journal

Founder

Pacific Geographical Institute
Far Eastern Branch
Russian Academy of Sciences

1 (25). 2026

The journal was founded in 2020

Periodicity – 4 times a year

CONTENTS

Chief editor column

The anniversaries of Pacific Geographical Institute. *A.V. Moshkov* 5

Examination of the territorial socio-economic systems and their components

DEMYANENKO A.N., YARULIN I.F. Geopolitical factors in the development of the Far Eastern macroregion (experience of studying the creative heritage of academician P.Ya. Baklanov) 13

ANZULIS Ya.E., PROKOPETS S.D., BELOVA I.V., TYUNYATKIN D.G., PUTINTSEV Yu.R. The Krinichnoye ancient settlement in Primorsky Krai: planigraphy and chronology. Experience of using the airborne laser scanning (LiDAR) method 27

Examination of the natural geosystems and their components

KOLOMYTS E.G. Assessment of the role of forests of the Volga basin in the regulation of the carbon cycle under global climate change (empirical-simulation forecast analysis) 38

SHAKIROV R.B., SOKOLOVA N.L., VENIKOVA A.L., POLONIK N.S. Mud volcanism on Sakhalin Island: genesis and gas-geochemical characteristics 55

FEDOROVSKIY A.S. Drones in geocological and hydrological researches 68

SKIRIN F.V. Lichen-indication assessment of ground-level air pollution at the western edge of the Przhevalsky Mountains on the example of the Tigrovaya Pad protected area 83

BOROVKOVA A.D., DONETS M.M., BELANOV M.A., MASALEVA K.R., SHESTERA A.A., VASILENKO N.D., TSYGANKOV V.Yu. Persistent organic pollutants and the Mussel Watch Program in the Asia-Pacific region: a brief review 94

IVANOVA E.D. Features of foraminiferal communities in the underwater landscapes of the coastal zone of South-Eastern Primorye 105

Instructions for authors 116

Chief Editor
ScD. (Geography), Chief research associate
of Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences
A.V. MOSHKOV

Deputy Editor
K.S. GANZEI – Corresponding Member of RAS, ScD.,
Director of PGI of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

Executive Secretary
L.V. GORBATENKO – PhD (Geography), Research associate

Translator
A.S. LANKIN – Assistant on external affairs

Editorial Board:

- | | | |
|-----------------|---|--|
| Brovko P.F. | – | ScD., Professor of Far Eastern Federal University (Vladivostok) |
| Chibilev A.A. | – | Academician of RAS, Research Adviser of Institute of Steppe of the URAL Branch of RAS (Orenburg) |
| Dao Dinh Cham | – | professor, director, Institute of Geography, Vietnamese Academy of Science and Technology (Hanoi, Vietnam) |
| Garmaev E.Zh. | – | Correspondent Member of RAS, Director of Baikal Institute of Nature Management of the Siberian Branch of RAS (Ulan-Ude) |
| Kachur A.N. | – | PhD (Geography), Leading research associate of Pacific Geographical Institute of FEB RAS (Vladivostok) |
| Makhinov A.N. | – | ScD (Geography), Chief research associate of Institute of Water Ecological Problems of FEB RAS (Khabarovsk); |
| Mishina N.V. | – | PhD (Geography), research associate of Pacific Geographical Institute of FEB RAS (Vladivostok) |
| Nazarov N.N. | – | ScD (Geography), Leading research associate of Pacific Geographical Institute of FEB RAS (Vladivostok) |
| Novikov A.N. | – | ScD (Geography), Professor of Baikal University (Chita) |
| Osipov S.V. | – | ScD (Biology), Chief research associate of Pacific Geographical Institute of FEB RAS (Vladivostok) |
| Panichev A.M. | – | ScD (Biology), Leading research associate of Pacific Geographical Institute of FEB RAS (Vladivostok) |
| Pingyu Zhang | – | professor, Northeastern Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences (Changchun, China) |
| Pletnev S.P. | – | ScD (Geography), Leading research associate of V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute of FEB RAS (Vladivostok) |
| Plyusnin V.M. | – | ScD (Geography), Research Adviser of Institute of Geography of the Siberian Branch of RAS (Irkutsk) |
| Razjigaeva N.G. | – | ScD (Geography), Chief research associate of Pacific Geographical Institute of FEB RAS (Vladivostok) |
| Shamov V.V. | – | ScD (Geography), Chief research associate of Pacific Geographical Institute of FEB RAS (Vladivostok) |
| Shulkin V.M. | – | ScD (Geography), Chief research associate of Pacific Geographical Institute of FEB RAS (Vladivostok) |
| Shvedov V.G. | – | ScD (Geography), Leading research associate of Pacific Geographical Institute of FEB RAS (Vladivostok) |
| Suo Cheng Dong | – | professor, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences (Beijing, China) |
| Tkachenko G.G. | – | PhD (Geography), Chief research associate of Pacific Geographical Institute of FEB RAS (Vladivostok) |
| Vinh Cam Lai | – | professor, Vice-President of the Association of Asian Geographers (Hanoi, Vietnam) |
| Vladimirov I.N. | – | ScD (Geography), director of V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS |
| Voronov B.A. | – | Corresponding Member of RAS, Scientific Advisor of the Institute of Water and Environmental Problems of the Khabarovsk Scientific Center, FEB RAS (Khabarovsk) |
| Zharikov V.V. | – | PhD (Geography), Deputy Director of Pacific Geographical Institute of FEB RAS (Vladivostok) |

ЮБИЛЯРЫ ТИХООКЕАНСКОГО ИНСТИТУТА ГЕОГРАФИИ

В 2026 г. научным сообществом географов России и зарубежья будут отмечаться знаменательные даты: 95 лет со дня рождения А.П. Капицы – члена-корреспондента АН СССР, почетного профессора МГУ, доктора географических наук, первого директора ТИГ ДВО РАН; 80-летие со дня рождения Петра Яковлевича Бакланова – академика РАН, профессора, доктора географических наук, многолетнего руководителя нашего института, вице-президента Русского географического общества; 80-летие со дня рождения доктора географических наук, профессора Матвея Тихоновича Романова и 90-летие Эрланда Георгиевича Коломыца – доктора географических наук, профессора, заслуженного деятеля науки Российской Федерации, работавшего в институте в начале 1980-х годов.



А.П. Капица (9.07.1931–2.08.2011)

В 2026 г. исполняется 55 лет со дня основания Тихоокеанского института географии ДВО РАН. Институт был создан в 1971 г. для координации географических исследований в переходной зоне континент–океан. Директором-основателем института был известный ученый, член-корреспондент АН СССР, доктор географических наук, заслуженный профессор Московского университета Андрей Петрович Капица.

Андрей Петрович Капица закончил кафедру геоморфологии географического

факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. С 1955 по 1965 г. Андрей Петрович принял участие в нескольких антарктических экспедициях, участвовал в трех внутриконтинентальных антарктических санно-гусеничных походах. На основе собранных в экспедициях данных и результатах проведенного сейсмического зондирования мощности ледникового покрова Антарктиды А.П. Капица составил первую в мире карту рельефа подледного ложа этого материка.

По материалам оригинальных исследований А.П. Капица подготовил и успешно защитил в 1958 г. в МГУ им. М.В. Ломоносова кандидатскую диссертацию «Динамика краевой части ледникового покрова Восточной Антарктиды в районе Первой комплексной антарктической экспедиции АН СССР 1956–1957 гг.». Через семь лет, в 1965 г., в 34 года А.П. Капица там же успешно защитил докторскую диссертацию «Подледный рельеф Антарктиды». После защиты докторской диссертации А.П. Капица работал профессором МГУ им. М.В. Ломоносова.

В 1970 г. распоряжением Совета министров СССР был организован Дальневосточный научный центр Академии наук СССР (ДВНЦ АН СССР). Андрей Петрович Капица был назначен председателем

его Президиума. А.П. Капица стал инициатором и директором-организатором Тихоокеанского института географии ДВНЦ АН СССР в г. Владивосток. Под его руководством были заложены основные научные направления нового института – комплексные региональные прогнозно-географические исследования территории и акватории Дальневосточного региона с использованием метода математического моделирования природных систем.

После возвращения в Москву в 1977 г. Андрей Петрович Капица до последних дней своей жизни был заведующим кафедрой рационального природопользования на географическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова. Он занимался преподавательской работой, организацией учебного процесса, руководил курсовыми и дипломными работами студентов, научными исследованиями преподавателей, продолжал заниматься изучением глобальных географических процессов.



П.Я. Бакланов (05.07.1946 – 31.10.2023)

Вся творческая жизнь П.Я. Бакланова прошла в Тихоокеанском институте географии, здесь он сформировался как ученый с мировым именем, создал свои фундаментальные труды в области теоретических вопросов географии, территориальной организации хозяйства, устойчивого развития регионов и территориального управления, оценки природно-ресурсного потенциала и природопользования, геополитики.

С 1966 по 1971 г. Петр Яковлевич обучался на географическом (очно) и экономическом (заочно) факультетах Московского государственного университета им.

М.В. Ломоносова. В 1971 г. он поступил в целевую для Дальневосточного научного центра АН СССР аспирантуру на кафедре экономической географии СССР этого университета. В 1972 г. был принят на постоянную работу в ТИГ ДВНЦ АН СССР (г. Владивосток) сначала младшим научным сотрудником, позднее заведующим сектором, лабораторией, а с 1979 по 1987 г. – заместителем директора института по научной работе.

По материалам своих исследований Петр Яковлевич в 1974 г. в диссертационном совете МГУ им. М.В. Ломоносова блестяще защитил кандидатскую диссертацию на тему «Анализ формирования и развития пространственных систем промышленного производства», а в 1987 г. и докторскую диссертацию на тему «Пространственные системы производства (микроструктурный уровень территориальной организации)».

В 1997 г. профессор П.Я. Бакланов был избран членом-корреспондентом РАН по Отделению океанологии, физики атмосферы и географии РАН по специальности «география», а в 2003 г. – действительным членом (академиком) Российской академии наук (Отделение наук о Земле) по специальности «география». Согласно рейтинговым исследованиям, он был одним из наиболее публикуемых и цитируемых ученых-географов в России.

В процессе своих исследований академик П.Я. Бакланов разработал теорию иерархических пространственных систем производства, выделил элементарные системы в виде пространственных структур расчетных единичных производств, показал механизмы и формы их интеграции в пространственные системы производства других уровней, в т.ч. в линейно-узловые, выделенные для территориально-компактных предприятий, промышленно-узловые и территориальные. Впервые им были выделены ресурсно-экологические структуры таких систем в виде звеньев использования природных ресурсов и выведения отходов производства, а также предложены методы измерения и соизмерения этих звеньев. На этой основе П.Я. Бакланов с коллегами разработал балансовые эколого-экономические модели промышленных узлов.

П.Я. Бакланов дал более строгие определения ряду основных категорий геополитики, в т.ч. таких как геополитические интересы и проблемы, геополитическое положение страны, региона, и на этой теоретической основе провел оценку геополитического положения Дальневосточного региона России как стратегического фактора регионального развития.

П.Я. Бакланов разработал подходы и принципы формирования программ устойчивого развития территории (региона) на основе выделения и оценки показателей качества регионального развития – экономического, социального, экологического. По его мнению, развитие территории является устойчивым, если происходит приращение всех этих качеств регионального развития.

Совместно с группой сотрудников ТИГ ДВО РАН Петр Яковлевич подготовил ряд предложений к Стратегии долгосрочного развития Дальневосточного региона России, Приморского края, г. Владивосток и его агломерации. Под его руководством ежегодно в Совет Федерации и Государственную думу РФ передавались аналитические записки, подготовленные сотрудниками ТИГ ДВО РАН, затрагивающие различные проблемы социально-экономического развития Дальнего Востока России и его отдельных регионов, в т.ч. с учетом динамики геополитической ситуации и роли России в Азиатско-Тихоокеанском регионе.

Академик РАН П.Я. Бакланов участвовал в работах по подготовке национальной Программы социально-экономического развития Дальневосточного региона и Забайкалья. Для этой Программы он выделил приоритетные направления долгосрочного регионального развития Дальнего Востока с учетом геополитических и экономико-географических факторов. Под его научным руководством творческим коллективом была подготовлена Концепция социально-экономического развития Приморского края; разработаны Программы развития некоторых муниципальных образований Приморского края; выполнены работы по планировке территории опережающего развития (ТОР) «Надеждинская», которая уже несколько лет успешно развивается вблизи г. Владивосток.

Петр Яковлевич был главным редактором журнала «Тихоокеанская география», заместителем главного редактора журнала «География и природные ресурсы», членом редколлегий и редакционных советов журналов «Известия РАН» (серия географическая), «Региональные исследования», «Вестник ДВО РАН» и др.

Среди вышедших из печати крупных монографий следует отметить трехтомник «Геосистемы Дальнего Востока на рубеже XX–XXI веков» (2008, 2010, 2012 гг.), «Прибрежно-морское природопользование» (2010 г.), «Тихоокеанская Россия: страницы прошлого, настоящего, будущего» (2012 г.), «Социально-экономическая география в России» (на англ. яз., 2015 г.), «Социально-экономическая география в России» (на рус. яз., 2016 г.), «Современная Россия: географическое описание нашего Отечества. Дальний Восток» (2020 г.), автором идей создания которых, а также многих помещенных в них материалов является их главный редактор – академик РАН П.Я. Бакланов. Последняя монография («Пространственное развитие Тихоокеанской России: структурные особенности, факторы, основные направления», Владивосток, 2023), в которой главным редактором и автором большинства разделов является Петр Яковлевич Бакланов, вышла за несколько месяцев до его ухода.

За успешную работу академик РАН П.Я. Бакланов был награжден несколькими государственными наградами: медалью «За трудовое отличие» (1981 г.), медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» 2-й степени (1997 г.), орденом Почета (2007 г.), медалями «За строительство Байкало-Амурской магистрали», «300 лет Российскому флоту», медалью Ассоциации российских географов-обществоведов (2017 г.), золотой медалью РГО имени П.П. Семёнова-Тян-Шанского (2021 г.). В 2021 г. за многолетний добросовестный труд, высокий профессионализм и выдающийся вклад в развитие научных исследований на Дальнем Востоке России в области теоретических и прикладных вопросов географии он был награжден золотой медалью ДВО РАН имени академика В.Л. Комарова.

П.Я. Бакланов – лауреат премии Правительства РФ в области образования (2000 г.), в 2008 г. он награжден Почетной грамотой Русского географического общества, в 2010 г. ему была вручена Грамота Министерства образования РФ.

В 2021 г. академику РАН Петру Яковлевичу Бакланову было присвоено почетное звание заслуженного географа Российской Федерации.

Разработанные академиком РАН П.Я. Баклановым теоретические подходы и методы изучения геосистем, территориальной организации общества, устойчивого развития социально-экономических систем, геополитических отношений и другие с успехом используются многими отечественными и зарубежными географами.



М.Т. Романов (24.11.1946 – 1.04.2020)

Матвей Тихонович Романов – известный российский экономико-географ, крупный специалист в области территориальной организации хозяйства, районирования и геополитики, доктор географических наук, профессор, лауреат Премии Правительства РФ в области образования (2001 г.).

М.Т. Романов был награжден почетными грамотами РАН и Дальневосточного отделения РАН. Он лауреат конкурса научных проектов «Концепции и стратегии развития регионов России на кратко- и среднесрочную перспективу» за работу «Концепция и стратегия развития Приморского края на кратко- и среднесрочную перспективу» (Екатеринбург, 2000 г.).

Вся научная жизнь М.Т. Романова связана с Тихоокеанским институтом географии,

где он прошел путь от лаборанта до заведующего лабораторией территориально-хозяйственных структур и главного научного сотрудника института.

С 1974 по 1985 г. М.Т. Романов занимался изучением локальных промышленно-аграрных систем (ЛПАС) юга Дальнего Востока, которые выделялись как городские поселения с их сельскохозяйственным окружением, со связями на производственном, социальном и ресурсно-экологическом уровнях. М.Т. Романов выполнил зонирование юга Дальнего Востока по условиям формирования ЛПАС, провел их типологию, разработал эталонные графические модели таких систем для различных природно-сельскохозяйственных зон. По результатам этих исследований в 1985 г. под руководством д.г.н., профессора П.Я. Бакланова М.Т. Романов успешно защитил кандидатскую диссертацию «Локальные промышленно-аграрные системы юга Дальнего Востока». Подобные исследования актуальны и до настоящего времени, поскольку территориальное сопряжение города и пригородного сельского хозяйства само по себе является важной предпосылкой установления тесных связей между ними на разных уровнях – экономическом, социальном, ресурсно-экологическом.

В последующие годы М.Т. Романов основное внимание уделял изучению территориальной организации хозяйства и населения восточных регионов России. При этом он выдвигал идею о ключевом значении экономического районирования территории страны как важнейшего инструмента территориального управления ее социально-экономическим развитием. М.Т. Романов разработал многоуровневое экономическое районирование России: макро-, мезо и микрорайонирование, на основании которого он предложил новую сетку административно-территориального деления страны. По его мнению, в изменившихся политико-экономических условиях это должно обеспечивать наибольшее приближение к финансовой, ресурсной, структурной самодостаточности территорий в целях устойчивого их функционирования и повышения уровня жизни насе-

ления. По результатам этих исследований в 2007 г. М.Т. Романов в диссертационном Совете при Институте географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (г. Иркутск) защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора географических наук на тему «Территориальная организация хозяйства слабо освоенных регионов: на примере российского Дальнего Востока». Научным консультантом работы выступил академик РАН П.Я. Бакланов.

Изучение территориальной организации хозяйства Дальнего Востока России с учетом изменившихся в 1990-х гг. экономико-географических и геополитических факторов было продолжено М.Т. Романовым и после защиты докторской диссертации. В частности, им рассматривалась комплексная проблема «разворота России на Восток» как попытка устранения значительных дисбалансов в ее сотрудничестве с Западом и Востоком и усиления пространственного развития восточных территорий.

М.Т. Романов совместно с академиком РАН П.Я. Баклановым изучал особенности геополитического положения Тихоокеанской России, отмечая его уникальность, которая определяется расположением в зоне контакта глобальных структур Евразии и Тихого океана, в непосредственном соседстве и в зоне пересечения геополитических интересов крупнейших мировых «центров силы» и одновременно крупнейших морских держав – США, Китая, Японии (включая морские экономические зоны, военно-морские базы и объекты, размещенные на их акваториях, природно-ресурсный, транспортно-транзитный потенциал морей и др.). В соотношении геополитического потенциала России и этих крупнейших «центров силы» авторы отмечали, что их «морская составляющая» (прежде всего природно-ресурсная, военно-морских баз) в перспективе будет усиливаться и во многом определять геополитическое положение России в этом макрорегионе мира, уровень ее взаимодействия с другими странами Азиатско-Тихоокеанского региона.

Совместно с П.Я. Баклановым и А.В. Мошковым были проведены исследования по выделению и оценке сочетаний

географических и геополитических факторов развития районов Дальнего Востока России, включая сочетания природных ресурсов и их пространственную дифференциацию, экономико-географическое и геополитическое положение, трансграничные особенности территорий и морских зон макрорегиона. На этой основе были выделены приоритетные направления долгосрочного развития Тихоокеанской России, дана оценка инерционности и изменчивости главных видов деятельности по субъектам Дальневосточного федерального округа, проведено интегральное зонирование территории на основе территориальных сочетаний главных факторов долгосрочного развития.

Теоретические наработки М.Т. Романова широко использовались в ряде практических проектов. В составе научного творческого коллектива под руководством академика РАН П.Я. Бакланова М.Т. Романов принимал участие в разработке «Схемы развития и размещения производительных сил Приморского края» (Владивосток, 1994 г.); Концепции развития Приморского края на основе широкого использования наукоемких технологий (Владивосток, 2001 г.); «Стратегии развития топливно-энергетического потенциала Дальневосточного экономического района до 2020 г. (Владивосток, 2001 г.); «Стратегия социально-экономического развития г. Владивостока и агломерации» (Владивосток, 2002 г.); Программы развития туризма и рекреации в Приморском крае и др. Кроме этого, М.Т. Романов участвовал в международных проектах по изучению проблем устойчивого природопользования в бассейне рек Уссури, Туманная, в проектах национального парка «Берингия» и др.

М.Т. Романов оставил после себя большое научное наследие. Результаты его научных исследований будут использоваться при изучении научных проблем по геополитическим, экономико-географическим, транспортным направлениям регионального развития, экономического районирования территории и акватории российского Дальнего Востока.



Э.Г. Коломыц (род. 27.01.1936 г.)

Эрланд Георгиевич Коломыц – воспитанник географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, окончивший университет в 1960 г. Эрланд Георгиевич известный физико-географ и ландшафтовед широкого профиля, специалист в области географической экологии и структурного снеговедения. Ученая степень доктора географических наук ему была присуждена Решением ВАК при СМ СССР от 26 марта 1976 г. Решением Госкомитета СССР по народному образованию от 28 ноября 1988 г. ему было присвоено звание профессора по кафедре физической географии. За время своей научной и педагогической деятельности им опубликовано огромное количество печатных работ, из них 25 собственных и 5 коллективных монографий, где он является основным автором.

После окончания Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова Эрланд Георгиевич в течение двадцати с лишним лет занимался изучением географии снежного покрова в различных институтах Академии наук СССР и Госкомгидромета, провел целый ряд зимних экспедиций и стационарных зимовок в горах севера Забайкалья, в Западной и Восточной Сибири, на Полярном Урале, в Приамурье, на Сахалине, Камчатке и в бассейне р. Колыма, а также в высокогорье Большого Кавказа.

Результаты многолетних исследований Э.Г. Коломыца внесли несомненный вклад в приоритеты отечественной гляциологии:

а) им разработана эмпирически обоснованная теория системной организации и

эволюции снежного покрова, опирающаяся на его кристалломорфологию и фундаментальные законы природной симметрии, что является принципиально новым направлением в развитии структурного снеговедения;

б) впервые осуществлен методологический подход к изучению процессов сублимационного метаморфизма снега с позиций общей теории эволюции; разработаны детерминированные и стохастические модели, описывающие эволюционный сублимационно-метаморфический цикл снежного покрова и полиморфные варианты этого направленного процесса; важно подчеркнуть, что этот цикл трактуется как определенная модель эволюционных биосферных процессов;

в) разработана новая, кристалломорфологическая классификация снега, позволяющая извлекать гораздо более богатую информацию о внутренних процессах, происходящих в снежной толще, по сравнению с прежними известными классификациями; новая классификация уже нашла применение в прогнозировании снежных лавин в ряде горных районов нашей страны; на ее основе успешно работает Сахалинская школа снеговедов-лавиновиков.

Эти разработки, ставшие предметом защиты его докторской диссертации, были сконцентрированы в крупной монографии «Структура снега и ландшафтная индикация» (1976 г.) и получили признание как в нашей стране, так и за рубежом. Свидетельством тому служат переведенные в Швейцарии на английский язык две его последующие монографии: «Кристалломорфологический атлас снега» (1984 г.) и «Методы кристалломорфологического анализа структуры снега» (1987 г.). Возвращаясь неоднократно к этой проблеме, Э.Г. Коломыц в 2013 г. опубликовал новый фундаментальный труд – Атлас-монографию «Теория эволюции в структурном снеговедении», который был переведен на английский язык и издан в том же году в США.

В течение последних 40 лет Э.Г. Коломыц вплотную занимается проблемами ландшафтной экологии, эмпирического моделирования гео(эко-)систем и эколого-

географического прогнозирования. Начало этим исследованиям положили проведенные им в 1979–1985 гг. комплексные экспедиции в Приэльбрусье, Южном Сихотэ-Алине и на юге Курильской островной дуги (о. Кунашир).

Среди наиболее результативных теоретических и научно-методических изысканий Э.Г. Коломыца следует отметить следующие:

1) создание кибернетической модели природного комплекса как иерархической системы управления; модель обогатила современные представления о механизмах и структурных уровнях пространственной организации природной среды;

2) разработка новых подходов к исследованию биогеографических и ландшафтных экотонов как триггерных систем с гистерезисными свойствами и как приоритетных индикаторов глобальных воздействий человека на природу (введенное им понятие «бореальный экотон» уже нередко встречается в литературе);

3) обоснование новых положений моно- и полисистемной организации географической среды, разработка целого спектра моделей этой организации, в том числе эмпирических моделей лесных биогеоценозов в различных зональных и высотно-поясных условиях равнинных и горных стран;

4) разработка методов исчисления функциональной устойчивости лесных биогеоценозов (как целостных образований – в духе учения В.Н. Сукачева) по дискретным параметрам их биологического круговорота, доказательство эффективности применения методов современной биогеоценологии к решению системных задач эколого-географического прогнозирования;

5) предложение стратегии и разработка алгоритмов применения методов ландшафтной экологии для количественных прогнозных оценок биотической регуляции углеродного цикла при глобальном потеплении; доказательства, что ландшафтный подход предусматривает пространственное многообразие типов этой регуляции и позволяет вскрыть истоки тех механизмов углеродного обмена лесных экосистем с

атмосферой, которые обеспечивают устойчивость континентальной биосферы к изменениям климата.

5) разработка стратегия эмпирико-статистического имитационного моделирования организации лесных биогеоценозов как исходных объектов наземного геосистемного мониторинга. Пространственный функциональный мониторинг лесов базируется на эмпирически установленных локальных и региональных ландшафтно-экологических связях, которые рассматриваются в качестве механизмов метаболических реакций лесных гео(эко-)систем на определенные климатические тренды. В этом состоит новизна предложенной автором прогнозной эмпирико-имитационной концепции локального (и регионального) геоэкологического прогнозирования.

Э.Г. Коломыц предложил и реализовал на практике также оригинальные методы численного ландшафтно-экологического прогнозирования, с помощью которых им получены развернутые вероятностные сценарии будущих состояний разномасштабных природных комплексов Волжского бассейна, Центрального Кавказа и юга российского Дальнего Востока в свете ожидаемых антропогенных изменений климата. Эти разработки являются крупным вкладом в научно-методический арсенал отечественной ландшафтной экологии.

Творчеству Э.Г. Коломыца как «генератора идей» (по словам В.С. Преображенского) свойственны нестандартность мышления и оригинальность подхода к решению актуальных экологических проблем, что вызывает повышенный интерес к его работам у специалистов не только в нашей стране, но и за рубежом. За многочисленный вклад в мировое научное сообщество Международным Биографическим Центром (IBC, Кембридж, Англия) ему были присвоены звание Почетного доктора наук (2016 г.) и номинация Почетного доктора философии (2018 г.)

26 апреля 2003 г. Указом Президента Российской Федерации Э.Г. Коломыцу присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки Российской Федерации». В октябре 2015 г. Президиум Отделения наук о Земле Российской академии наук утвер-

дил присуждение Э.Г. Коломьцу почетной номинации Лауреата Премии имени академика А.А. Григорьева за цикл многолетних работ в области физической географии и гляциологии, опубликованных с 2003 г. в 10 его монографиях, изданных как в России, так и за рубежом.

В этом номере журнала публикуется статья одного из юбиляров – Э.Г. Коломьца, в которой на примере Волжского бассейна представлены результаты прогнозного анализа удельных и суммарных углеродных балансов лесных формаций.

Также здесь представлена статья А.Н. Демьяненко и И.Ф. Ярулина, посвященная изучению творческого наследия академика РАН П.Я. Бакланова – его

исследований влияния геополитических факторов на социальное и экономическое развитие Дальневосточного макрорегиона.

В текущем году в журнале планируется публикация материалов, в которых на основе теоретических наработок П.Я. Бакланова и М.Т. Романова рассматриваются региональные особенности развертывания геополитических отношений в Азиатско-Тихоокеанском регионе.

*Анатолий Владимирович МОШКОВ,
главный редактор журнала
«Тихоокеанская география»,
д.г.н., г.н.с. ТИГ ДВО РАН,
г. Владивосток,
e-mail: mavr@tigdvo.ru*



Геополитические факторы социального и экономического развития Дальневосточного макрорегиона (опыт исследования творческого наследия академика РАН П.Я. Бакланова)

Александр Николаевич ДЕМЬЯНЕНКО
доктор географических наук, профессор, Хабаровск, Россия
ad176008@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8378-6472>

Илдус Файзрахманович ЯРУЛИН
доктор политических наук, профессор, Хабаровск, Россия
iarulin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3067-5290>

Аннотация. В творческом наследии академика П.Я. Бакланова особое место занимают исследования, которые находятся на стыке политической географии и геополитики. Характерная черта этих исследований заключается в том, что непосредственным объектом исследования является Дальневосточный макрорегион, рассматривающийся либо как часть АТР, либо как российское трансграничье. Но всегда в исследовательском фокусе находятся проблемы влияния геополитических факторов на трансформационные процессы в Дальневосточном регионе. Примечательно, что аналитический инструментарий, используемый П.Я. Баклановым, достаточно традиционен и самым непосредственным образом связан с теорией экономического районирования и экономико-географического положения. Другая особенность работ П.Я. Бакланова заключается в том, что, оставаясь географом, он был открыт для идей и инструментария, присущего смежным с географией дисциплинам, в частности, таким как политические науки, мировая экономика, экономическая и политическая история. Особо следует отметить, что большинство работ по проблемам геополитики и политической географии не только отличаются комплексным характером, но и иллюстрируют сплав теории и практики. Несомненный интерес представляет сформулированная П.Я. Баклановым концепция Северной Пацифики, опирающаяся в свою очередь на учение о геосистемах. Не менее интересны идеи П.Я. Бакланова о контактных, прежде всего акваториальных, структурах и использование при их выделении бассейнового принципа, а также его подходы к оценке влияния геополитического положения, геополитического потенциала на социально-экономическую динамику регионов различного масштаба. При всем этом П.Я. Бакланов был открыт для дискуссий и никогда не претендовал на то, что обладает истиной в последней инстанции. В конечном итоге, полученные П.Я. Баклановым и его коллегами результаты дают основание говорить о складывающейся в настоящее время Дальневосточной научной школе геополитических исследований, объединяющей политологов, географов, историков и экономистов. В данной статье основное внимание уделено работам П.Я. Бакланова, имеющим непосредственное отношение к геополитике и политической географии.

Ключевые слова: П.Я. Бакланов, геополитика, политическая география, востоковедение, Дальний Восток, Северная Пацифика

Для цитирования: Демьяненко А.Н., Ярулин И.Ф. Геополитические факторы социального и экономического развития Дальневосточного макрорегиона (опыт исследования творческого наследия академика РАН П.Я. Бакланова) // Тихоокеанская география. 2026. № 1. С. 13–26. https://doi.org/10.35735/26870509_2026_25_1.

Geopolitical factors in the development of the Far Eastern macroregion (experience of studying the creative heritage of academician P.Ya. Baklanov)

Alexander N. DEMYANENKO
Doctor of Geographical Sciences, Professor, Khabarovsk, Russia
ad716008@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8378-6472>

Ildus F. YARULIN
Doctor of Political Sciences, Professor, Khabarovsk, Russia
iarulin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3067-5290>

Abstract. In the creative heritage of academician P. Ya. Baklanov, a special place is occupied by his studies at the intersection of political geography and geopolitics. A characteristic feature of these studies is that the direct object of research is the Far Eastern macroregion, considered either as part of the Asia-Pacific region or as a Russian trans-border region. However, the research has always been focused on the influence of geopolitical factors on transformation processes in the Far Eastern region. It is noteworthy that the analytical tools used by P. Ya. Baklanov are quite traditional and are most directly related to the theory of economic zoning and economic-geographical position. Another distinctive feature of the works of P.Ya. Baklanov is that, while remaining a geographer, he was open to the ideas and tools inherent in disciplines related to geography, in particular, political science, world economy, economic and political history. It should be especially noted that most of the works on the problems of geopolitics and political geography are distinguished not only by their complex nature, but also represent a fusion of theory and practice. Of undoubted interest is the concept of the Northern Pacific formulated by P.Ya. Baklanov, which in turn is based on the doctrine of geosystems. No less interesting are the ideas of P.Ya. Baklanov regarding contact structures, primarily aqua-territorial ones, and the use of the basin principle in their identification, as well as his approaches to assessing the influence of the geopolitical position, geopolitical potential on the socio-economic dynamics of regions of various sizes. With all this, P.Ya. Baklanov was open to discussions and never claimed to possess the ultimate truth. Finally, the results obtained by P.Ya. Baklanov and his colleagues give reason to talk about the currently emerging Far Eastern scientific school of geopolitical research, uniting political scientists, geographers, historians and economists. This article focuses on the works of P.Ya. Baklanov, which are directly related to geopolitics and political geography. In the following, it is proposed to consider the influence of geopolitical factors on the formation and dynamics of transborder regions of the Russian Federation and the Far East, first of all.

Keywords: P.Ya. Baklanov, geopolitics, political geography, oriental studies, Far East, North Pacifics

For citation: Demyanenko A.N., Yarulin I.F. Geopolitical factors in the development of the Far Eastern macroregion (experience of studying the creative heritage of academician P.Ya. Baklanov). *Pacific Geography*. 2026;(1):13-26. (In Russ.). https://doi.org/10.35735/26870509_2026_25_1.

Введение

В обширном и многогранном творческом наследии академика П.Я. Бакланова (1946–2023 гг.) особое место занимают работы, находящиеся на стыке geopolitics и политической географии. При этом сам Петр Яковлевич по большому счету не очень интересовался тем, где проходит эта междисциплинарная граница, его много больше интересовало то, каким образом международные отношения РФ, прежде всего с сопредельными странами, оказывают влияние на территориально-отраслевую структуру и динамику экономики страны и Дальневосточного макрорегиона в первую очередь. Уже по одной толь-

ко этой причине обзор результатов исследований П.Я. Бакланова по упомянутым выше проблемам, среди которых особо следует выделить проблемы трансграничных регионов Дальнего Востока, следует признать актуальными не только в силу особенностей современной геополитической ситуации, в которой оказалась РФ, но и по причине трудно прогнозируемых изменений в геополитическом ландшафте в Восточной Азии – макрорегиона, частью которого является Дальний Восток России.

Наконец, анализ публикаций, выполненных П.Я. Баклановым и его соавторами, среди которых не только его коллеги по ТИГ ДВО РАН, но и целому ряду других академических институтов и вузов, предоставляет возможность проследить формирование научной школы геополитических исследований, объединяющих политологов, географов, историков и экономистов региона. Естественно, что такой подход к анализу творческого наследия академика РАН П.Я. Бакланова предполагает обращение к работам не только российских, но и зарубежных исследователей, оставивших заметный след в изучении влияния геополитических факторов на становление и последующую эволюцию Дальневосточного макрорегиона.

Материалы и методы

Интересующая нас часть наследия П.Я. Бакланова состоит из публикаций, которые появились в конце 1990 – начале 2000-х гг., когда в отечественной географии происходил парадигмальный сдвиг. Показательно, что С.Б. Лавров, констатируя кризисное состояние отечественной географической науки, полагал, что «Геополитические и этнополитические подходы в новой ситуации – императив» [1, с. 19]. Сам факт появления такого мнения, высказанного президентом Русского географического общества, вовсе не случаен. Именно в этот период происходят системные геополитические изменения. Распад СССР привел к возникновению геополитических разломов, культурно-исторических и межэтнических размежеваний. Эти процессы обусловили потребность в качественных политико-географических исследованиях. Реализация этого запроса осуществлялась в двух направлениях: географы начинают использовать инструментальный и подходы возникшей в стране политической науки, в то же время происходит «политизация» собственно географических исследований.

В этом движении за вовлечения геополитической тематики в сферу интересов социально-экономической географии у П.Я. Бакланова была своя ниша, которую он делил со своими коллегами, прежде всего из ТИГ ДВО РАН, но не только. Эту нишу, или, точнее, область исследований, можно обозначить как изучение влияния геополитических факторов на социальное и экономическое развитие российских регионов, и в первую очередь Дальневосточного макрорегиона [2–16].

Но как бы ни была значима обозначенная выше тема, она была далеко не единственной, ибо нередко П.Я. Бакланов, отталкиваясь от дальневосточной проблематики, выходил на обобщения, имеющие, по-нашему мнению, значение для теории политической географии. Речь идет, в частности, о таких понятиях, как «геополитическое положение», «геополитический периметр» и «геополитический потенциал».

Наконец, еще одна тема, о которой нельзя не упомянуть – это приграничные и трансграничные регионы прежде всего (но не исключительно) Дальнего Востока, проблемы их становления и эволюции, а также методические подходы к их изучению. Но это уже тема отдельной статьи.

В статье кратко описаны и систематизированы политико-географические и геополитические тексты П.Я. Бакланова; проанализированы результаты, полученные П.Я. Баклановым как лично, так и в соавторстве в следующих областях: а) геополитика и политическая география, б) геополитические факторы и их влияние на развитие Дальневосточного макрорегиона, в) трансграничные регионы РФ и Дальнего Востока. Также схематично об-

рисовано состояние исследований по обозначенным выше вопросам в Дальневосточном регионе¹.

Полагаем, что целый ряд теоретических и прикладных результатов, полученных П.Я. Баклановым, имеет дискуссионный характер. Впрочем, сам Петр Яковлевич никогда не считал, что результаты его исследований содержат истину в последней инстанции. По этой причине мы посчитали возможным, анализируя творческое наследие П.Я. Бакланова, там, где это было уместным, вступить с ним в дискуссию.

Результаты и их обсуждение

Дальневосточный макрорегион (если нет специальных оговорок) мы рассматриваем в границах ДФО без Забайкалья и Якутии. Что касается научных центров, ориентированных на исследования взаимодействий Дальнего Востока (ДВ) и сопредельных стран, то таковых по большому счету два: Владивостокский и Хабаровский. Критерий здесь прост: и в Хабаровске, и во Владивостоке сложились исследовательские коллективы, причем не только в академических институтах, но и в вузах, которые не только осуществляют конференционную, но и издательскую деятельность. Издаются не только материалы научных конференций, но и журналы, некоторые из них имеют устоявшуюся репутацию не только в регионе, но известны за пределами нашего отечества, о чем свидетельствует включение их в международные базы данных². Это вовсе не означает, что за пределами этих двух региональных столиц нет исследователей, которые бы не публиковали результаты своих изысканий по обозначенным выше темам. Естественно, что дать объективную оценку вклада П.Я. Бакланова в понимание роли и места геополитических факторов в социально-экономическое развитие ДВ возможно только с учетом современного состояния геополитических и политико-географических исследований в регионе в общероссийском и международном контексте.

О геополитике, политической географии и востоковедении

Необходимо определить, что есть геополитика, политическая география и востоковедение. Если очень коротко³, то геополитика — комплекс представлений о контроле над территорией, о закономерностях распределения и перераспределения сфер влияния центров силы различных государств и межгосударственных объединений. Политическая география — наука, изучающая территориальную дифференциацию политических явлений

¹ В определенной мере творческое наследие П.Я. Бакланова представляет собой кейс, который дает возможность проследить становление дальневосточной школы геополитических исследований и ее взаимоотношение с коллегами как в России, так и за ее рубежами. Показательно, что П.Я. Бакланов неоднократно не только принимал участие в исследовательских проектах, но и был инициатором ряда проектов, имеющих самое непосредственное отношение к изучению влияния геополитических факторов на социально-экономическое развитие России и ДВ: «Трансграничные проблемы стран СНГ» (2003 г.); «Приграничные и трансграничные территории азиатской России и сопредельных стран» (2010 г.); «Приграничное сотрудничество российского Дальнего Востока с Китайской Народной Республикой: маркетинговый анализ и проблемы развития» (2017 г.); «Приграничные и трансграничные территории азиатской России и сопредельных стран» (2018 г.); «Тихоокеанская Россия в интеграционном пространстве Северной Пацифики в начале XXI века: опыт и потенциал регионального и приграничного взаимодействия» (2018 г.). В этой связи заслуживает внимания и тот факт, что в упомянутых (и не упомянутых) выше исследовательских проектах принимали участие не только географы, но и специалисты из самых различных областей знания, не только из академических институтов и вузов Владивостока и Москвы, но и из многих городов РФ от Калининграда до Петропавловска-Камчатского. Упоминание Москвы не случайно — Петр Яковлевич в свое время окончил МГУ по двум специальностям — география и экономика (становлению П.Я. Бакланова как ученого посвящена статья А.А. Агирречу [17]).

² Отчасти обзор исследований в интересующей нас области дан в статье В.Л. Ларина [18], куда не вошли публикации сотрудников ТИГ (в том числе и П.Я. Бакланова) и ТОГУ (г. Хабаровск). Впрочем, два других, но уже сточных автора считают, что за пределами столицы вообще нет институтов, которые бы занимались ДВ [19, с. 85].

³ О том, что представляет собой геополитика и политическая география, можно судить по [22–31].

и процессов. Не существует геополитики в отрыве от политической географии, как и политической географии без геополитики. Но есть еще одна область научного знания, о которой следует упомянуть – это востоковедение. Представляется, что для П.Я. Бакланова это составные части, элементы политико-географической картины мира.

Однако сразу же отметим, что сугубо теоретических работ ни в области геополитики, ни политической географии у П.Я. Бакланова практически нет. С известной долей условности к их числу можно отнести статью 2003 г. «О категориях современной геополитики» [20], в которой он, говоря о геополитике, выделяет два подхода: прикладной (или практический) и теоретический, отмечая при этом, что второй является не только более сложным, но и менее разработанным. Естественно, что он предпринимает попытку сформулировать понятийный аппарат, который, по его мнению, был бы пригоден для описания геополитической структуры мира. Итак, для целей анализа геополитической картины мира П.Я. Бакланов предлагает следующий набор понятий: «геополитические центры – крупнейшие страны с очень высоким геополитическим потенциалом и глобальными геополитическими интересами»; региональные геополитические центры – «крупные страны с большим геополитическим потенциалом и разнообразными геополитическими интересами, выходящими на крупные регионы». Наконец, это надгосударственные структуры – «военно-политические блоки, экономические группировки, ассоциации стран ...» [20]. Кроме того, к числу элементов геополитической структуры мира, хотя и специфических, П.Я. Бакланов относит «геополитические оси – в виде устойчивого геополитического партнерства двух стран; геополитические треугольники – в виде устойчивого геополитического партнерства трех стран; геополитические границы – в виде устойчивых рубежей влияния отдельных стран их группировок» [там же].

Далее П.Я. Бакланов делает переход от центров силы или влияния на иерархию геополитических пространств: исходный уровень – отдельные страны и их геополитические отношения, средний уровень – макрорегионы, образованные странами, входящими в надгосударственные структуры, со сферами их влияния и, наконец, глобальный уровень, охватывающий геополитические структуры и отношения всех стран мира [20].

Здесь следует упомянуть о том, что на момент публикации статьи П.Я. Бакланова представляла собой отечественная геополитика. Если не вдаваться в детали, то можно согласиться с оценками Н.С. Розова, что «подлинно научных концепций в российской геополитике нет», а была «вакханалия имперской, шовинистической, ксенофобской риторики под видом «геополитики»» [21, с. 130]. На этом фоне попытку П.Я. Бакланова перейти от упомянутой «вакханалии» к научному осмыслению геополитических проблем России можно только приветствовать. Но, как нам представляется, возможно, более важно то, что П.Я. Бакланов рассматривал совокупность геополитических факторов, оказывающих влияние на социально-экономическое развитие ДВ, как проблему, исследование которой требует реализации комплексного подхода. И даже когда он акцентировал внимание читателя на том, что предпринятая им попытка исследования геополитических факторов, точнее, трансграничности и трансграничных регионов, имеет сугубо географический характер, тем не менее уже в работах 2000-х гг. проявляется осознание того, что такого рода проблемы требуют проведения междисциплинарных исследований⁴.

Необходимо отметить одну черту, присущую П.Я. Бакланову: его приверженность комплексному (может быть, точнее – системному) подходу в исследованиях, в том числе и в изучении геополитических проблем.

В последующем П.Я. Бакланов не раз обращался к теоретическим проблемам геополитики, но, как правило, в контексте влияния геополитических факторов на развитие ДВ, то

⁴ В свое время один из авторов данной статьи в рецензии на монографию П.Я. Бакланова и С.С. Ганзея отмечал, что знакомство с монографией подводит читателя к осознанию того, что «... трансграничность имеет не только географическое содержание, скорее всего, это область междисциплинарных исследований» [32, с. 171; 33]. Сейчас можно добавить, что эта монография не только о трансграничности, но и о системе геополитических факторов, влияющих на социально-экономическую динамику региона.

есть в рамках подхода, который он сам обозначил как прикладной⁵. Он рассматривал геополитику как своего рода стратегию пространственного развития территории и государства в интересах этого государства. Скорее всего, концепция Северной Пацифики (одним из авторов которой был П.Я. Бакланов) предоставляла, по его мнению, продуктивную теоретическую основу для анализа проблем социально-экономического развития ДВ именно в геополитическом аспекте.

Если предельно кратко: концепция Северной Пацифики в понимании П.Я. Бакланова изложена в ряде работ [5, 32], среди которых особо следует выделить раздел «Тихоокеанская Россия: географические и геополитические предпосылки выделения макрорегиона» в коллективной монографии «Тихоокеанская Россия в интеграционном пространстве Северной Пацифики в начале XXI века: опыт и потенциал регионального и приграничного взаимодействия» [32]⁶. Она может быть сформулирована следующим образом.

Во-первых, макрорегион Тихоокеанская Россия⁷ вписан в «Северо-Тихоокеанское трансграничное пространство – Северную Пацифику» [32, с. 30]. При этом трансграничность выступает в качестве фактора развития не только Северной Пацифики, но и Тихоокеанской России, «порождая не только непростые вызовы, но и немалые возможности. И прежде всего закладывает объективные предпосылки для международного сотрудничества» [там же]. То есть Северная Пацифика представляет собой как бы первый уровень членения глобального геополитического пространства. Причем, и это важно, мы имеем дело с акватерриториальной пространственной системой. Еще одна важная черта рассматриваемой нами концепции – принципиальный отказ ее автора от поиска каких бы то ни было точных границ Северной Пацифики (см. рис.).

Во-вторых, Тихоокеанская Россия, с точки зрения геополитического положения, – «это еще зона глобальных контактных географических структур»⁸. А выполнение макрорегионом контактных функций «формирует обширные трансграничные зоны экономического и ресурсно-экологического влияния, порождая как общие геополитические интересы, так и противоречия, и проблемы» [32, с. 27]. К этому можно добавить: макрорегион (и ДВ не исключение) может выполнять не только контактные, но и барьерные функции. И тогда на место сотрудничества приходит конфронтация, вплоть до вооруженных конфликтов. Добавить следует и то, что в качестве структурных элементов Северной Пацифики (второй уровень членения геополитического пространства) выступают не государства, а макрорегионы сопредельных стран⁹. Такие как ДВ России, Северо-Восточный Китай, Тихоокеанское побережье США и Канады, Аляска и т.д.

В-третьих, по мнению П.Я. Бакланова, «Важнейшей специфической чертой геополитического положения Тихоокеанской России является вхождение ее отдельных частей в крупные трансграничные регионы — целостные в природно-ресурсном и природно-экологическом отношении географические системы, пересекаемые государственными границами» [32, с. 28]. Здесь явно прослеживается связь с некоторыми предшествующими ра-

⁵ Наверное, здесь уместно напомнить, что как минимум в последние 20–25 лет активно обсуждается тема «трансформационных исследований», представляющих симбиоз фундаментальных и прикладных исследований, который выражается в том, что фундаментальные, поисковые работы выполняются при ясном понимании практической цели, пусть и отдаленной. Очень может быть, что многие из работ П.Я. Бакланова, можно отнести к числу таковых.

⁶ Здесь следует отметить, что безымянный автор Введения в этой коллективной монографии хотя и указывает на то, что «Поскольку многие разделы являются плодом коллективных усилий, их авторство специально не обозначено» [32, с. 19], авторы данной статьи полагают, что авторство П.Я. Бакланова этого параграфа несомненно.

⁷ Авторы монографии и в том числе П.Я. Бакланов рассматривают Тихоокеанскую Россию, как территорию РФ от Тихого океана до Байкала. По-нашему мнению, эта расширительная трактовка имеет право на существование, если мы будем иметь в виду, что она была в свое время предложена в контексте государственной программы «ДВ и Байкальский регион».

⁸ Подробно о контактных структурах в том числе в СВА в [9, 34].

⁹ В случае с Северной Пацификой в качестве структурных элементов выступают не только макрорегионы, но и страны КНДР и РК.

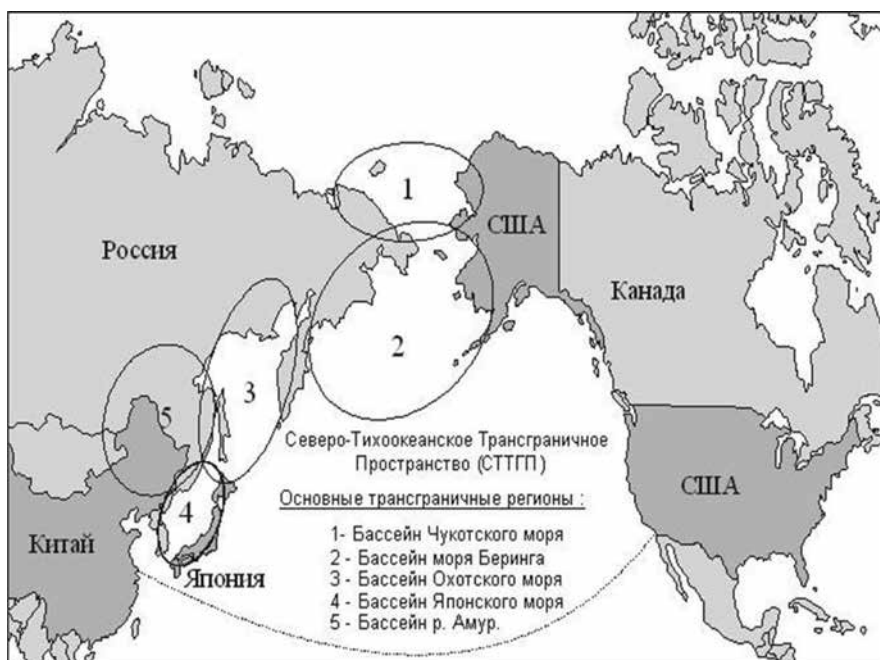


Рис. Основные трансграничные регионы в Северо-Тихоокеанском трансграничном пространстве [13, 32]

Fig. Main transboundary regions in the North Pacific transboundary space [13, 32]

ботами (например, [10, 15]), а также использование геосистемного подхода к выделению трансграничных территорий¹⁰.

Уместно отметить, что при выделении трансграничных территорий П.Я. Бакланов последовательно придерживался положения, согласно которому морские и речные бассейны представляют собой геосистемы, т.е. в основу выделения трансграничных регионов был положен бассейновый принцип, хорошо известный в географии.

Следует в краткой форме сформулировать основные направления эволюции отечественной политической географии в постсоветской истории России¹¹. Справедливости ради следует отметить, что нередко крайне сложно разграничить, где кончается геополитика, а где начинается политическая география. Хотя общепринято, что в настоящее время отечественная «политическая география — наука относительно молодая, ее предметное поле продолжает уточняться, а методы исследования совершенствоваться [24, с. 7]¹². Следует также добавить, что, как и в случае с геополитикой, в отечественной политической географии мы наблюдаем и терминологическую неразбериху, и недостаточный уровень концептуализации исследований [22–24, 28, 31].

¹⁰ По мнению П.Я. Бакланова, «Практически все бассейны дальневосточных морей (Чукотского, Берингова, Охотского, Японского), будучи целостными морскими геосистемами (экосистемами), являются трансграничными» [7, с. 28].

¹¹ Политическая география и геополитика существовали в отечественной науке и в ее досоветский период [23], но сам П.Я. Бакланов в своих исследованиях практически не упоминает работы начала XX в.

¹² Зарубежная же политическая география имеет долгую историю, она была частью географии человека с момента возникновения ее как университетской дисциплины, т.е. как минимум с конца XIX века. С известной долей упрощения можно согласиться с мнением, что политическая география – это своеобразный интерфейс между географией и политикой. Но возможен и другой подход – он исходит из признания того, что политическая география исследует круг вопросов на пересечении ключевых географических проблем пространства, территории и места, с одной стороны, и вопросов власти и политики – с другой [31]. А можно определить политическую географию, как субдисциплину об отношениях между пространством и властью [30, с. 1].

Но в начале коротко о взаимоотношениях между двумя системами наук – географией и политологией, включая и геополитику. Уместно привести мнение, согласно которому: «Географические знания занимают центральное место во всех формах политического действия, а значит – и политического анализа. Географическое невежество может оказаться крайне пагубным и для политика, и для эксперта-политолога» [24, с. 16]¹³. Будучи географом, П.Я. Бакланов в полной мере осознавал это и пытался выстраивать механизмы взаимодействия между географией и политической наукой, что прежде всего проявилось в его исследованиях границ, приграничных и трансграничных территорий.

При этом если своего рода мейнстримом в отечественной политической географии было исследование границ, которые в настоящее время все чаще воспринимаются как сложный социальный феномен, формируемый «в результате воспроизводства разграничений разными социальными и политическими силами в ходе их деятельности – социальной практики (bordering)» [22, с. 398], то для П.Я. Бакланова наибольший интерес представляли не столько границы как таковые¹⁴, сколько то, каким образом они влияли на социально-экономическую динамику приграничных и трансграничных регионов, а также на состояние природных геосистем по обе стороны границ.

При рассмотрении геополитических факторов развития территории Дальнего Востока большое значение имеют достижения отечественного востоковедения, без анализа которых трудно понять тот контекст, который не мог не повлиять на выбор П.Я. Баклановым тематики, теоретических оснований и аналитического инструментария. На основе недавних публикаций [21, 35–37], включающих два обстоятельных доклада В.А. Кузнецова, попытаемся кратко дать наше понимание положения дел в современном российском востоковедении. В первом докладе В.А. Кузнецова «...предпринимается попытка определить ключевые тенденции развития российского востоковедного образования и науки» [36, с. 4], во втором – путем интервьюирования ведущих отечественных специалистов в области востоковедения¹⁵ предпринята попытка выявить круг проблем и наметить возможные пути их преодоления. В.А. Кузнецовым достаточно подробно освещен вопрос о специфике российского востоковедения (что имеет принципиальное значение для нашей работы), которая может быть описана следующим образом: а) российское востоковедение «...представляло собой одновременно изучение и зарубежного, и внутреннего российского Востока, который в XX веке уже не воспринимался как Другой, по крайней мере в цивилизационном отношении...» [36, с. 11]; б) отечественные востоковеды не принимали и не принимают участия в дискуссиях, что, естественно, следует из доминирования официальной марксистско-ленинской идеологии в советский период российской истории, но что мешает сейчас, не ясно. Теперь о том, чем занимаются отечественные востоковеды? Как минимум в 20 институтах, занимающихся востоковедческими исследованиями, эти исследования «фокусируются на классическом цикле востоковедческих исследований: истории, археологии, этнологии и филологии» [36, с. 21]. «Если самим востоковедам необходимо, чтобы область их деятельности не исчезла, им придется более тщательно работать над ее методологическими основаниями» [36, с. 26].

¹³ Если мы обратимся к положению дел за пределами нашего отечества, то и там мы находим, что «... среди географов и политологов существует тенденция игнорировать или предпочитать не признавать академический вклад друг друга из-за оптики своей собственной дисциплины» [24]. В конечном счете это проявляется в том, что, если для представителей политических наук пространство не более чем контекст для политического действия, то для географов организация пространства является не только ареной, но и ресурсом политического действия.

¹⁴ Как, например, в работах В.А. Колосова [22, 23], в которых предпринята попытка теоретического осмысления феномена границ и дана их типология. В частности, им выделены четыре типа границ: отчуждающие, полупроницаемые, соединяющие и интегративные. Еще один интересный момент в теоретических построениях В.А. Колосова заключается в его исследовании взаимозависимости общественного мнения и внешней политики.

¹⁵ Всего в ходе исследования было проведено «...более 30 интервью с руководителями востоковедных подразделений университетов и научных учреждений из Москвы, Санкт-Петербурга, Казани, Екатеринбурга, Улан-Удэ, Владивостока – городов, где сосредоточены ключевые востоковедческие школы» [37, с. 4].

Второй доклад В.А. Кузнецова [37] интересен тем, что он отражает мнение руководителей исследовательских подразделений относительно того, что есть востоковедение. Прежде всего в этой среде сложились три точки зрения по этому вопросу: первая – востоковедение не наука или научная область, а «унаследованная от колониальных времен исследовательская практика, которая в современных условиях, в общем, избыточна: все решаемые востоковедами задачи могут с не меньшим успехом решаться представителями иных наук» [37, с. 5]. Согласно второй точке зрения «востоковедение представляет собой не науку, а научную область, поскольку не обладает ни собственным предметом, ни специфическими методами» [37, с. 5]. И, наконец, есть точка зрения согласно которой «востоковедение – все же наука, но наука комплексная...»¹⁶ [37, с. 5], так как она «стоит на стыке разных дисциплин, где на основе филологии, знания языка, культуры, менталитета народов создается обобщение, которое сочетает в себе методику разных наук – социологии, политологии и т.д.» [37, с. 5, 6].

Здесь авторам в пору выказать свое мнение: Восток, конечно, дело – тонкое, но согласиться с тем, что «Задача изучения Востока силами востоковедов будет неизменно актуальной до тех пор, пока в мире сохраняется дихотомия «коллективный Запад» – «коллективный Восток»» [36, с. 26], нам крайне сложно, как и с тем, что «Лингвистика, язык, литература – это основа востоковедения ...» [37, с. 6]. Нам представляется, что не менее значимыми для понимания той или иной страны, в том числе и тех, которые по тем или иным критериям относят к Востоку¹⁷, или как в случае с Россией, которая имеет в своем составе Восток (хотя и Дальний), являются как минимум географические, политические и экономические знания. То есть мы считаем, что востоковедение, как оно сложилось в нашем отечестве, не более чем то, что традиционно обозначают как страноведение, при этом, говоря о страноведении, мы имеем в виду не государства, а сложные пространственные системы, границы которых лишь отчасти совпадают с государственными границами. Кстати, не раз упоминавшаяся выше Северная Пацифика – хороший пример «страны» без государственных границ, но имеющей вполне внятные физико-географические и геополитические основания. При этом Северная Пацифика, если стоять на позиции отечественного востоковедения, – это одновременно и Восток, и не Восток. И тогда все тот же П.Я. Бакланов, как и его соавторы, по большей части сотрудники ТИГа, – и востоковеды, и даже совсем не востоковеды. О состоянии востоковедения (прежде всего китаеведения, пожалуй, самой востребованной составляющей отечественного востоковедения) в Дальневосточном регионе дают представление публикации В.Л. Ларина [18] и А.В. Виноградова и А.И. Кобзева [19].

Итак, что мы имеем в сухом остатке? В обоих текстах В.И. Кузнецова, во-первых, демонстрация верности традициям, то есть уверенность в том, что востоковедение – это исследования, посвященные истории, культуре, философии, религии и филологии Востока; во-вторых, востоковедение на Дальнем Востоке и китаеведение в России находятся в очевидном упадке. Опустим детали¹⁸ и переходим к выяснению причин, их множество,

¹⁶ Относительно комплексности востоковедения интересно замечание А.М. Кузнецова: «Простая декларация комплексности не может подменить эту (речь идет о методологии – А.Д. и И.Я.) сложную, но необходимую область исследований, а тем более обеспечить подлинную фундаментальность данной науки ...» [35, с. 166].

¹⁷ В литературе встречается разделение на истинный Восток и ««ориентализированные» области, в которых «чувствуется Восток». Во-первых, Балканы с их православным и мусульманским населением и с историей подчинения османскому владычеству. Во-вторых, южные оконечности Италии и Франции: Сицилия, Сардиния, Корсика, балансирующие на грани принадлежности к Европе ... Есть государства, испытавшие на себе восточные влияния (например, Испания). Наконец, существует огромный и страшный Восток Европы — то есть мы» [38, с. 635]. Что уж тут говорить об Азиатской России и Дальнем Востоке в частности.

¹⁸ Все-таки на одну из них следует обратить внимание: «... для дальневосточного востоковедения как области научных знаний характерны раздробленность и местечковость» [18, с. 97]. Об этом же, но другими словами пишут А.В. Виноградов и А.И. Кобзев: «На Дальнем Востоке и в Сибири есть профессиональные китаеведы, но говорить о формировании научно-исследовательских центров и научных школ всероссийского уровня еще, вероятно, не приходится, это задача 20–30 лет и двух-трех поколений, как и положено для научной школы» [19, с. 83-4].

но главные две: первая: «... главная компонента для успешного развития этой весьма специфической и недешевой отрасли науки – заказ со стороны государства, понимание и поддержка со стороны федерального центра и местных органов власти» [18, с. 98], и эта причина вполне понятна, как и пути преодоления. А вот вторая – заслуживает больше внимания из-за ее экстравагантности. Суть ее заключается в том, что в востоковедение и в китаеведение в том числе пришли невостоковеды и некитаеведы, то есть ученые со степенями (добавим от себя: и без таковых), то есть исследователи, которые не получили востоковедческого образования, но являются специалистами в области международных отношений, экономики, социологии, наконец, географии и т.д. И это при том, что «Достоинство некиитаистов в том, что они могут и ставят крупные, фундаментальные проблемы, способствующие сближению проблематики обществоведения и китаеведения, которое по-страноведчески остается научно периферийным. Китаеведение до сих пор не имеет большой теории, как и другое страноведение, выглядит полуприкладным знанием, питательной средой для больших теорий» [19, с. 85].

Осталось только сказать, что П.Я. Бакланов ни коим образом не позиционировал себя ни в качестве китаеведа, ни в качестве востоковеда – он был экономистом-географом, который не раз и не два обращался к исследованию геополитических проблем, в фокусе которых практически всегда находился российский Дальний Восток.

На этом мы заканчиваем свой краткий обзор и переходим к подведению предварительных выводов. В своих исследованиях П.Я. Бакланов, как географ, всегда стремился выявить в разных науках (востоковедение, история, культурологи и др.) элементы, которые могут быть полезны для теоретического осмысления геополитических процессов в Азиатско-Тихоокеанском регионе и Тихоокеанской России. Комплексный географический подход позволил П.Я. Бакланову в сложных социальных, экономических и политических процессах и явлениях, разворачивающихся в регионах мира, выделить пространственные закономерности процессов формирования геополитических структур, связей и отношений.

Предварительные выводы

П.Я. Бакланов, как представляется, стоял на позиции, согласно которой политическая география как научная дисциплина, изучающая пространственные аспекты человеческой деятельности, должна анализировать пространственные системы в их связи с организацией власти, в контексте постоянно меняющихся процессов глобализации / деглобализации, подчинения / сотрудничества.

В настоящее время политическая география переживает значительное совершенствование своего аналитического инструментария в целях большей концептуализации исследований. В частности, это относится к исследованиям П.Я. Бакланова, имеющим отношение к оценке влияния места и соседства в политических процессах на местном, национальном и глобальном уровнях. И несмотря на то, что П.Я. Бакланова по большей части интересовали Дальний Восток России и Северная Пацифика, а сам он был географом, результаты его исследований не только демонстрируют возможные направления взаимодействия политической географии, геополитики и геоэкономики, но имеют как теоретическое, так и прикладное значение.

В одной из своих последних публикаций (в соавторстве с В.Л. Лариным) П.Я. Бакланов предельно четко формулирует задачу будущим исследователям: «Осознание совпадающих интересов еще не гарантирует их реального совмещения. Недостаточно и политической воли с обеих сторон. Тут не обойтись без фундаментальной науки. Назрело и даже перезрело создание научно обоснованной стратегии приграничного взаимодействия России с Китаем» [16, с. 14].

С этим трудно не согласиться. Действительно взаимодействие между РФ и КНР требует научно обоснованной стратегии, но на наш взгляд [39, 40], как бы ни были значимы в

настоящее время российско-китайские отношения, проблема шире – требуется геополитическая концепция Дальнего Востока. Скорее всего, при разработке такого рода концепции следует иметь в виду исследовательский подход, получивший название «геополиномии», являющийся логическим развитием прежних представлений о взаимосвязи географии и политики¹⁹. При постановке вопроса о геополитической концепции, о влиянии геополитических факторов на региональное развитие следует иметь в виду, что необходим «мост» между академическим сообществом и политиками.

Литература

1. Лавров С.Б. В поисках новой парадигмы // Географические проблемы конца XX века. СПб.: РГО, 1998. С. 5–20.
2. Бакланов П.Я. Географические и геополитические факторы в региональном развитии // Региональные исследования. 2014. № 2. С. 4–10.
3. Бакланов П.Я. Тихоокеанская Россия: географические и геополитические факторы развития // Известия РАН. Серия географическая. 2015. № 5. С. 8–19.
4. Бакланов П.Я. Географические и геополитические факторы в региональном развитии // Вопросы географии. Сб. № 141. Проблемы регионального развития России. М.: Кодекс, 2016. С. 166–175.
5. Бакланов П.Я. Геополитические факторы в региональном развитии // Таможенная политика на Дальнем Востоке. 2020. № 4. С. 75–83.
6. Бакланов П.Я. Устойчивое развитие приморских регионов: географические и геополитические факторы и ограничения // Балтийский регион. 2022. № 1. С. 4–16.
7. Бакланов П.Я. Географические и геополитические факторы в пространственном развитии приморских регионов // Социально-экономическая география в XXI веке: новые реалии и практические возможности: материалы междунар. науч.-практ. конф. Минск: БГУ, 2022. С. 26–28.
8. Бакланов П.Я. Геополитический периметр России: европейские и азиатские сегменты // Современная Евразия: общественно-географический анализ. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2023. С. 13–15.
9. Бакланов П.Я. Пространственные структуры и территориальные системы в региональном развитии. Избранное. Владивосток: ТИГ ДВО РАН, 2024. 464 с.
10. Бакланов П.Я., Винокуров В.И., Снытко В.А., Тулохонов А.К., Чибилев А.А. Географические и геополитические проблемы устойчивого развития приграничных районов азиатской России // Трансграничные проблемы стран СНГ. М.: Опус, 2003. С. 138–151.
11. Бакланов П.Я., Мошков А.В., Романов М.Т. Географические и геополитические факторы и направления долгосрочного развития Арктической зоны России // Вестник ДВО РАН. 2015. № 2. С. 5–15.
12. Бакланов П.Я., Романов М.Т. Экономико-географическое и геополитическое положение Тихоокеанской России. Владивосток: Дальнаука, 2009. 167 с.
13. Бакланов П.Я., Романов М.Т. Геополитические факторы развития трансграничных регионов // Таможенная политика России на Дальнем Востоке. 2010. № 2 (51). С. 60–71.
14. Бакланов П.Я., Романов М.Т. Геополитическое положение тихоокеанской России в начале XXI века // Ученые записки ЗабГУ. 2014. № 1. С. 89–98.
15. Бакланов П.Я., Романов М.Т. Геополитическое положение как фактор регионального развития // Геосистемы Дальнего Востока России на рубеже XX–XXI веков: в 3 т. Т. 3. Территориальные социально-экономические структуры. Владивосток: Дальнаука, 2012. С. 137–147.
16. Бакланов П.Я., Ларин В.Л. Дальневосточные районы РФ в современном российско-китайском взаимодействии // Мировая экономика и международные отношения. 2023. № 6. С. 5–16.
17. Агирречу А.А. Учеба П.Я. Бакланова в Московском университете // Материалы XVII научного совещания географов Сибири и Дальнего Востока (г. Иркутск, 9–14 сентября 2024 г.). Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2024. С. 46–52.
18. Ларин В.Л. Современное востоковедение Тихоокеанской России (на подходе к 125-летию юбилею) // Труды Института истории, археологии и этнографии ДВО РАН. 2024. Т. 44. С. 78–101.
19. Виноградов А.В., Кобзев А.И. Российское китаеведение: современное состояние и основные проблемы // Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право. 2021. Т. 14, № 6. С. 73–91.

¹⁹ Дж. Демко и У. Вудз следующим образом сформулировали суть этой концепции: «Геополиномика ... представляет собой взаимодействие между функциональными экономическими и политическими регионами, которые нелегко увидеть на простых картах мира, висящих на стенах министерств иностранных дел. Тем не менее такие «скрытые» регионы часто более «реальны», чем те, которые обозначены государственными границами, поскольку они обеспечивают пространственную структуру для самых фундаментальных транзакций, между производителями и потребителями» [31, с. 15].

20. Бакланов П.Я. О категориях современной геополитики // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2003. № 2. С. 7–16.
21. Розов Н.С. Геополитика как наука: отменить нельзя развивать // Полития. 2016. № 3. С. 130–148.
22. Колосов В.А., Зотова М.В., Туров Н.Л. Геополитика и политическая география в России: основные направления, теоретические подходы и особенности // Известия РАН. Серия географическая. 2022. Т. 86, № 3. С. 393–415.
23. Колосов В.А., Мироненко Н.С. Геополитика и политическая география. М.: Аспект Пресс, 2001. 479 с.
24. Политическая география: Современная российская школа: Хрестоматия / Сост. И.Ю. Окунев, М.Н. Шестакова. М.: Аспект Пресс, 2022. 544 с.
25. Cohen S.B. Geopolitics. The Geography of International Relations. Third edition. Rowman & Littlefield 2015. 504 p.
26. Dlec J. Major Trends in Russian Geopolitics After 1991 // Politeja. 2019. N 5. P. 141–160.
27. Flint C. Introduction to geopolitics Fourth edition. N.Y.: Routledge, 2022. 324 p.
28. Flint C., Taylor P.J. Political geography: world-economy, nation-state, and locality. N.Y.: Routledge, 2018. 390 p.
29. Park J. Rethinking Geopolitics: Geography as an Aid to Statecraft // Texas National Security Review. 2023. Vol. 6, N 4. P. 79–100.
30. Rethinking geopolitics / eds S. Dalby, G. Ó Tuathail. Routledge, Taylor & Francis: New York; London, 2002. 352 p.
31. Wood W.B., Demko G.J. Introduction: Political Geography for the Next Millennium // Reordering the World. Geopolitical Perspectives on the 21st Century: Second Edition / eds G. J. Demko, W. B. Wood. Westview Press, Boulder, Colorado, 1999. P. 3–18.
32. Тихоокеанская Россия в интеграционном пространстве Северной Пацифики в начале XXI века: опыт и потенциал регионального и приграничного взаимодействия / Под ред. В.Л. Ларина. Владивосток: ИИАЭ ДВО РАН, 2017. 386 с.
33. Демьяненко А.Н. Устойчивое природопользование на трансграничных территориях: вопросы теории и практики (о книге П.Я. Бакланова и С.С. Ганзея «Трансграничные территории: проблемы устойчивого природопользования») // Пространственная экономика. 2009. № 3. С. 159–171.
34. Бакланов П.Я. Контактные географические структуры и их функции в северо-восточной Азии // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2000. № 1. С. 31–39.
35. Кузнецов А.М. Заметки «постороннего» о XIV съезде востоковедов России // Ойкумена. Регионоведческие исследования. 2025. Т. 19, № 1. С. 163–170.
36. Кузнецов В.А. Российское востоковедение: вызовы и перспективы развития в новой реальности. М.: МГИМО-Университет, 2023. 32 с.
37. Кузнецов В.А. Российское востоковедение 2024: оценки профессионального сообщества. М.: МГИМО-Университет, 2024. 26 с.
38. Крылов К. Итоги Саида: жизнь и книга // Саид Э. Ориентализм. СПб.: Русский мир, 2006. С. 598–637.
39. Демьяненко А.Н. Геополитические факторы развития Дальневосточного макрорегиона // Материалы XVII научного совещания географов Сибири и Дальнего Востока (г. Иркутск, 9–14 сентября 2024 г.). Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2024. С. 53–56.
40. Демьяненко А.Н., Ярулин И.Ф. Геополитические факторы устойчивого развития Дальневосточного макрорегиона // Геосистемы Северо-Восточной Азии: природные, социальные и хозяйственные системы. Владивосток: ТИГ ДВО РАН, 2025. С. 13–20.

References

1. Lavrov, S.B. In Search of a New Paradigm. In *Geographical Problems of the End of the Twentieth Century*. RGS: SPb, Russia, 1998, 5-20. (In Russian)
2. Baklanov, P.Ya. Geographical and Geopolitical Factors in Regional Development. *Regional Studies* 2014, 2, 4-10. (In Russian)
3. Baklanov, P.Ya. Pacific Russia: Geographical and Geopolitical Factors of Development. *Izvestiya Rossiyskoi Akademii nauk. Seriya Geographicheskaya*. 2015, 5, 8–19. (In Russian)
4. Baklanov, P.Ya. Geographical and Geopolitical Factors in Regional Development. In *Questions of Geography. Collection 141. Problems of Regional Development of Russia*. Kodeks: Moscow, Russia, 2016, 166-175. (In Russian)
5. Baklanov, P.Ya. Geopolitical factors in regional development. *Customs policy of Russia in the Far East*. 2020, 4, 75-83. (In Russian)
6. Baklanov, P.Ya. Sustainable development of coastal regions: geographical and geopolitical factors and constraints. *Baltic region*. 2022, 1, 4-16. (In Russian)
7. Baklanov, P.Ya. Geographical and geopolitical factors in the spatial development of coastal regions. In *Socio-economic geography in the 21st century: new realities and practical opportunities*. BSU: Minsk, 2022, 26-28. (In Russian)

8. Baklanov, P.Ya. Geopolitical perimeter of Russia: European and Asian segments. In *Modern Eurasia: socio-geographical analysis*. Baikal Scientific Center, SB RAS: Ulan-Ude, Russia, 2023, 13-15. (In Russian)
9. Baklanov, P.Ya. Spatial structures and territorial systems in regional development. Selected works. PGI FEB RAS: Vladivostok, Russia, 2024; 464 p. (In Russian)
10. Baklanov, P.Ya.; Vinokurov, V.I.; Snytko, V.A.; Tulokhonov, A.K.; Chibilev, A.A. Geographical and geopolitical problems of sustainable development of border regions of Asian Russia. In *Transboundary problems of the CIS countries*. Opus: Moscow, Russia, 2003, 138-151. (In Russian)
11. Baklanov, P.Ya.; Moshkov, A.V.; Romanov, M.T. Geographical and geopolitical factors and directions of long-term development of the Arctic zone of Russia. *Vestnik of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*, 2015, 2, 5-15. (In Russian)
12. Baklanov, P.Ya.; Romanov, M.T. Economic-geographical and geopolitical situation of the Pacific region of Russia. Dalnauka: Vladivostok, Russia, 2009; 167 p. (In Russian)
13. Baklanov, P.Ya.; Romanov, M.T. Geopolitical factors of development of cross-border regions. *Customs policy of Russia in the Far East*. 2010, 2 (51), 60-71. (In Russian)
14. Baklanov, P.Ya.; Romanov, M.T. Geopolitical position of Pacific Russia at the beginning of the 21st century. *Uchenye zapiski of Transbaikal state university*. 2014, 1, 89-98. (In Russian)
15. Baklanov, P.Ya.; Romanov, M.T. Geopolitical position as a factor in regional development. In *Geosystems of the Russian Far East at the turn of the 20th-21st centuries: in 3 volumes*. Vol. 3. Territorial socio-economic structures. Dalnauka: Vladivostok, Russia, 2012, 137-147. (In Russian)
16. Baklanov, P.Ya.; Larin, V.L. Far Eastern regions of the Russian Federation in modern Russian-Chinese interaction. *World Economy and International Relations*. 2023, 6, 5-16. (In Russian)
17. Agirrechu, A.A. P.Ya. Baklanov's studies at Moscow University. In *XVII scientific meeting of geographers of Siberia and the Far East*. Dedicated to the 50th anniversary of the BAM and the memory of academician P.Ya. Baklanov. V.B.Sochava Institute of Geography SB RAS: Irkutsk, Russia, 2024, 46-52. (In Russian)
18. Larin, V.L. Modern Oriental Studies of Pacific Russia (approaching the 125th Anniversary). In *Works of the Institute of History, Archeology and Ethnography, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2024, Vol. 44, 78-101. (In Russian)
19. Vinogradov, A.V.; Kobzev, A.I. Russian Sinology: Current State and Main Problems. *Outlines of Global Transformations: Politics, Economics, Law*. 2021. Vol. 14, 6, 73-91. (In Russian)
20. Baklanov, P.Ya. On the Categories of Modern Geopolitics. *Izvestiya Rossiyskoi Akademii nauk. Seriya Geographicheskaya*. 2003, 2, 7-16. (In Russian)
21. Rozov, N.S. Geopolitics as a Science: to abolish or to develop. *Polity*. 2016, 3, 130-148. (In Russian)
22. Kolosov, V.A.; Zotova, M.V.; Turov, N.L. Geopolitics and political geography in Russia: main directions, theoretical approaches and features. *Izvestiya Rossiyskoi Akademii nauk. Seriya Geographicheskaya*. 2022, Vol. 86, 3, 393-415. (In Russian)
23. Kolosov, V.A.; Mironenko, N.S. Geopolitics and political geography. Aspect Press: Moscow, Russia, 2001; 479 p. (In Russian)
24. Political geography: The Modern Russian school: A Reader / Comp. Okunev, I.Yu.; Shestakova, M.N. Aspect Press: Moscow, Russia, 2022; 544 p. (In Russian)
25. Cohen, S.B. Geopolitics. The Geography of International Relations. Third edition. Rowman & Littlefield. 2015; 504 p.
26. Dlec, J. Major Trends in Russian Geopolitics After 1991. *Politeja*. 2019, 5, 141-160.
27. Flint, C. Introduction to geopolitics. Fourth edition. Routledge: New York, USA. 2022; 324 p.
28. Flint, C.; Taylor, P.J. Political geography: world-economy, nation-state, and locality. Routledge: New York, USA. 2018; 390 p.
29. Park, J. Rethinking Geopolitics: Geography as an Aid to Statecraft. *Texas National Security Review*. 2023, Vol.6, 4, 79-100.
30. Rethinking geopolitics /eds. S. Dalby, G. Ó Tuathail. Routledge, Taylor & Francis: New York-London, 2002; 352 p.
31. Wood, W.B.; Demko, G.J. Introduction: Political Geography for the Next Millennium. In *Reordering the World. Geopolitical Perspectives on the 21st Century: Second Edition* / eds. G. J. Demko, W. B. Wood. Westview Press: Boulder, Colorado, 1999, 3-18.
32. Pacific Russia in the integration space of the North Pacific at the beginning of the 21st century: experience and potential of regional and cross-border interaction. IHAЕ FEB RAS: Vladivostok, Russia, 2017; 386 p. (In Russian)
33. Dem'yanenko, A.N. Sustainable nature management in transboundary territories: issues of theory and practice (about the book by P.Ya. Baklanov and S.S. Ganzel «Transboundary territories: problems of sustainable nature management»). *Spatial economy*. 2009, 3, 159-171. (In Russian)
34. Baklanov, P.Ya. Contact geographical structures and their functions in north-east Asia. *Izvestiya Rossiyskoi Akademii nauk. Seriya Geographicheskaya*. 2000, 1, 31-39. (In Russian)
35. Kuznetsov, A.M. Notes of an «outsider» about the XIV Congress of Russian Orientalists. *Oikumena. Regional Studies*. 2025, Vol. 19, 1, 163-170. (In Russian)
36. Kuznetsov, V.A. Russian Oriental Studies: Challenges and Prospects for Development in the New Reality. MGIMO: Moscow, Russia, 2023; 32 p. (In Russian)

37. Kuznetsov, V.A. Russian Oriental Studies 2024: Assessments of the Professional Community. MGIMO: Moscow, Russia, 2024; 26 p. (In Russian)
38. Krylov, K. Said's Results: Life and Book. In *Said E. Orientalism*. Russkiy mir: SPb. Russia, 2006, 598-637. (In Russian)
39. Dem'yanenko, A.N. Geopolitical factors of development of the Far Eastern macroregion. In *XVII scientific conference of geographers of Siberia and the Far East*. V.B.Sochava Institute of Geography SB RAS: Irkutsk, Russia, 2024, 53-56. (In Russian)
40. Dem'yanenko, A.N.; Yarulin, I.F. Geopolitical factors of sustainable development of the Far Eastern macroregion. In *Geosystems of North-East Asia: natural, social and economic systems*. PGI FEB RAS: Vladivostok, Russia. 2025, 13-20. (In Russian)

Статья поступила в редакцию 4.06.2025; одобрена после рецензирования 18.09.25; принята к публикации 14.10.2025.

The article was submitted 4.06.2025; approved after reviewing 18.09.2025; accepted for publication 14.10.2025.



Городище Криничное в Приморье: планиграфия и хронология памятника. Опыт применения методики воздушного лазерного сканирования (LiDAR)

Яна Евгеньевна АНЗУЛИС¹
кандидат исторических наук, старший научный сотрудник
7yana7@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-9102-0730>

Станислав Данилович ПРОКОПЕЦ¹
кандидат исторических наук, старший научный сотрудник
stas842005@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8121-6625>

Ирина Владимировна БЕЛОВА¹
младший научный сотрудник
irceo@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2919-389X>

Дмитрий Геннадьевич ТЮНЯТКИН²
кандидат географических наук, научный сотрудник
tdima2000@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-0570-3396>

Юрий Романович ПУТИНЦЕВ²
аспирант, ведущий инженер
desertegle99@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-4254-8249>

¹ Институт истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН, Владивосток, Россия

² Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия

Аннотация. Статья посвящена результатам совместных исследований Тихоокеанского института географии ДВО РАН (ТИГ ДВО РАН) и Института истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН (ИИАЭ ДВО РАН) на археологическом памятнике – городище Криничное, расположенном в Хорольском муниципальном округе Приморского края. Впервые для Приморского края было применено воздушное лазерное сканирование (LiDAR), что значительно повысило качество и точность полученных данных. Эти данные впоследствии верифицировались визуальным мониторингом, на некоторых участках археологическими раскопками и дополнительной съемкой при помощи геодезического спутникового оборудования. Такой подход обеспечил надежную проверку результатов лазерного сканирования и способствовал увеличению их научной значимости. Объединение усилий специалистов из различных научных дисциплин дало возможность взглянуть на известный археологический памятник под новым углом. Одним из самых значительных открытий стало изменение представлений о его фортификации: если ранее отмечался только один вал, то благодаря новой съемке зафиксировано три вала, был выявлен проход в городище, до этого остававшийся незамеченным. Существенные коррективы новая съемка памятника внесла

и в наши представления о количестве, расположении и конфигурации жилищных и хозяйственных западин на территории городища и за его пределами. Это открытие позволило выделить несколько групп западин, что в свою очередь открывает возможности для установления хронологии памятника и периодов его заселения. Полученные результаты не только трансформируют наши представления о памятнике археологии, но и создают новые направления для будущих исследований. Открытия на городище Криничное подчеркивают важность мультидисциплинарного подхода к изучению культурного наследия, что может привести к более глубокому пониманию истории региона и его древних жителей.

Ключевые слова: LiDAR, Приморье, археологический памятник, городище, фортификация, мохэская культура, палеометалл

Для цитирования: Анзулис Я.Е., Прокопец С.Д., Белова И.В., Тюняткин Д.Г., Путинцев Ю.Р. Городище Криничное в Приморье: планиграфия и хронология памятника. Опыт применения методики воздушного лазерного сканирования (LiDAR) // Тихоокеанская география. 2026. № 1. С. 27–37. https://doi.org/10.35735/26870509_2026_25_2.

Original article

The Krinichnoye ancient settlement in Primorsky Krai: planigraphy and chronology. Experience of using the airborne laser scanning (LiDAR) method

Yana E. ANZULIS¹

Candidate of Historical Sciences, Senior research associate
7yana7@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-9102-0730>

Stanislav D. PROKOPETS¹

Candidate of Historical Sciences, Senior research associate
stas842005@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8121-6625>

Irina V. BELOVA¹

Junior research associate
irceo@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2919-389X>

Dmitry G. TYUNYATKIN²

Candidate of Geographical Sciences, Research associate
tdima2000@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-0570-3396>

Yuri R. PUTINTSEV²

Postgraduate student, Lead Engineer
desertegle99@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-4254-8249>

¹ Institute of History, Archaeology and Ethnography of the Peoples of the Far East, FEB RAS, Vladivostok, Russia

² Pacific Geographical Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia

Abstract. This article is dedicated to the results of joint research conducted by the Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (PIG FEB RAS) and the Institute of History, Archaeology, and Ethnography of the Peoples of the Far East of the FEB RAS (IHAE FEB RAS) at the archaeological site — Krinichnoye Settlement, located in Khorolsky Municipal District,

Primorsky Krai. For the first time in Primorsky Krai, airborne laser scanning (LiDAR) was applied, significantly improving the quality and accuracy of the obtained data. These data were subsequently verified through visual monitoring, archaeological excavations at some sites, and additional surveying using GNSS equipment. This approach ensured a reliable validation of the LiDAR results and contributed to increasing their scientific significance. The collaboration of specialists from various scientific disciplines has provided an opportunity to examine the well-known archaeological site from a new perspective.. One of the most significant discoveries was a revision of its fortification system: while previously only one rampart was noted, new survey data revealed three ramparts, and a previously unnoticed passage within the settlement was identified. The new survey also led to important adjustments in our understanding of the number, location, and configuration of residential and economic depressions within and outside the settlement. This discovery enabled the identification of several groups of depressions, which in turn opens up possibilities for establishing the chronology of the site and its periods of occupation. The results obtained not only transform our understanding of this archaeological monument but also open new avenues for future research. The discoveries at Krinichnoye highlight the importance of a multidisciplinary approach to studying cultural heritage, which can lead to a deeper understanding of regional history and its ancient inhabitants.

Keywords: LiDAR, Primorsky Krai, archaeological site, settlement, fortification, Mohe culture, Palearctic period

For citation: Anzulis Ya.E., Prokopets S.D., Belova I.V., Tyunyatkin D.G., Putintsev Yu.R. The Krinichnoye ancient settlement in Primorsky Krai: planigraphy and chronology. Experience of using the airborne laser scanning (LiDAR) method. Pacific geography. 2026;(1):27-37. https://doi.org/10.35735/26870509_2026_25_2.

Введение

За последние годы воздушное лазерное сканирование стало важнейшим инструментом в археологических исследованиях [1]. Этот метод, применяющийся для высокоточного картографирования линейных и площадных объектов, позволяет создавать цифровую трехмерную модель объекта, представив его набором точек с пространственными координатами. Ключевые преимущества этого метода съемки, с точки зрения археологов, заключаются в следующем:

1) высокая точность и детализированность: метод позволяет достигать невероятной детализации при создании цифровых моделей, что существенно облегчает анализ объектов;

2) скорость – процесс съемки занимает значительно меньше времени в сравнении с традиционными методами, что особенно важно в условиях ограниченных временных ресурсов;

3) фиксация скрытого рельефа – лазерное сканирование позволяет выявлять особенности рельефа, скрытые под растительностью, что открывает новые горизонты для археологических изысканий.

Несмотря на все преимущества, метод также ставит перед исследователями ряд вопросов. Появление новых данных требует дополнительного анализа и интерпретации, итогом чего становятся новые направления для археологических исследований.

В данной статье мы представляем первый опыт совместной работы ученых ТИГ и ИИАЭ ДВО РАН, объединивший воздушное лазерное сканирование и археологические исследования.

Материалы и методы

Городище Криничное находится в северо-западной части Хорольского района, в 2 км к юго-востоку от села Поповка (рис. 1). Оно расположено на пологом склоне горного отрога, на левом борту пади Каменной, рядом с западным берегом искусственного

озера, куда впадает р. Криничная. Городище имеет прямоугольную форму с закругленными углами, при этом длинная сторона ориентирована в сторону долины Каменной пади. Северная часть территории преимущественно ровная, тогда как южная и юго-восточная части имеют более выраженный уклон.

Памятник обнаружен исследователем и краеведом Н.И. Миковым, в 2012 г. археологом ИИАЭ ДВО РАН С.В. Батаршевым проведена топографическая съемка и шурфовка памятника [2]. В результате было установлено, что укрепления городища представлены замкнутым валом и двумя рвами – внутренним и внешним. По внешнему основанию вала линейные размеры городища были определены как 218×135 м, а площадь – 21057 м². Проход в городище на этом этапе исследований не был выявлен. В процессе инструментальной съемки памятника было зафиксировано 100 западин внутри вала, а также две западины на западе, за пределами вала, в северо-западной его части. Отмечалось, что эти углубления отличаются размерами и имеют разнообразные формы: квадратные, прямоугольные, треугольные, округлые и овальные [2].

Исследования на памятнике были продолжены в 2014 г. под руководством Ю.В. Кривули. Изучено сооружение с котлованом подтреугольной формы, расположенное возле вала в южной части памятника, площадью 12 м², с двумя выступами в юго-восточном и юго-западном углах, углубленная в грунт на 0.22 – 0.3 м. Согласно реконструкции Ю.В. Кривули, у постройки была трехскатная деревянная кровля, которая опиралась на три столба, установленных в ямах, расположенных в ее северо-восточном, юго-восточном и юго-западном углах. Необычная для жилищ мохэской культуры форма котлована, отсутствие очага, а также наличие двух выступов в углах, которые могли являться нишами для хранения инвентаря, указывали, по мнению автора на то, что данное сооружение являлось нежилой хозяйственной постройкой [3].

Материалы, полученные в 2012 г. и 2014 гг., однозначно свидетельствовали о том, что городище Криничное относится к мохэской археологической культуре раннего Средневековья. С такой культурной и хронологической атрибуцией памятник был введен в научный оборот [4, с. 363].

В 2023 и 2024 гг. исследования продолжил Ханкайский археологический отряд ИИАЭ ДВО РАН. Уже после визуального обследования памятника, составления ортофотоплана портативным квадрокоптером и раскопок в 2023 г. стало очевидно, что датирование городища только периодом раннего Средневековья ошибочно. Во-первых, в раскопе 2 и 3 обнаружен и ранний материал, предварительно отнесенный к неизвестной культуре эпохи палеометалла, и круговая керамика, характерная для средневековых бохайской или чжурчжэньской культур. Во-вторых, система фортификации оказалась гораздо сложнее, чем было представлено в ранних отчетах: на ортофотоплане прослеживались два, а местами три вала. И, в-третьих, жилища на памятнике явно группировались по расположению и размеру.

Поэтому, в связи с наличием новых данных, в 2024 г. совместно с ТИГ ДВО РАН была проведена съемка памятника методом воздушного лазерного сканирования (LiDAR). Главной целью исследований стало уточнение планиграфии памятника, с упором на точную фиксацию системы фортификационных сооружений, следов застройки за пределами городища, и выявление прохода внутрь городища.

По итогам проведенных работ была составлена цифровая модель рельефа местности не только самого городища, но и прилегающей территории. Эти результаты и материалы, полученные в ходе полевых исследований, позволили по-новому взглянуть на историю городища, которая оказалась гораздо длиннее и намного более продолжительной и насыщенной, чем представлялось ранее.

Цифровая модель городища создана на основе данных, полученных методом лазерного сканирования, которое проводилось с использованием беспилотного авиационного комплекса Геоскан 401, оборудованного лазерным сканером АГМ-МС1. Съемка городища выполнялась по лесному покрову на высоте 150 м в два этапа. На первом происходила

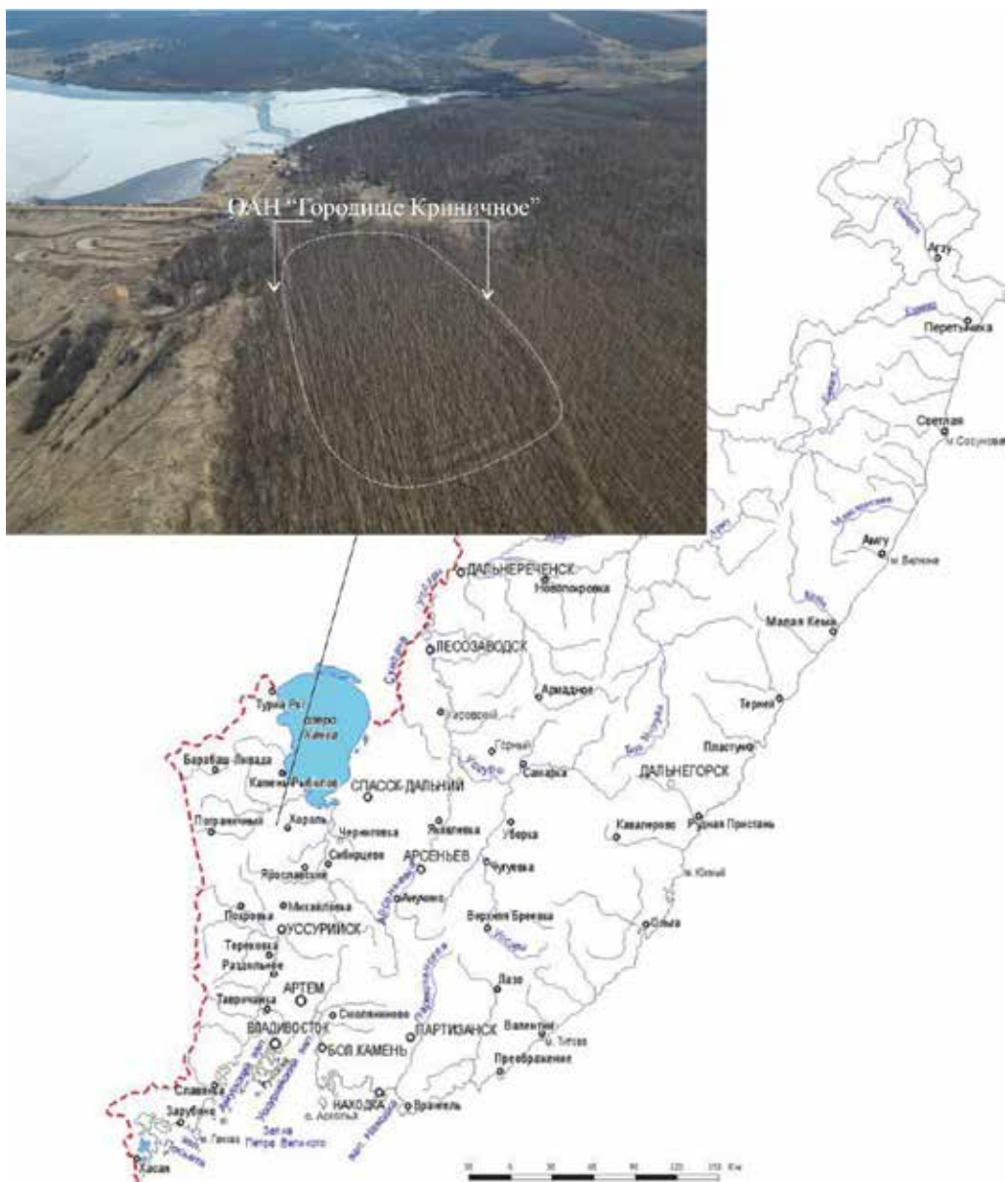


Рис. 1. Расположение ОАН «Городище Криничное»

Fig. 1. Location of the Krinichnoye ancient settlement

отработка методики с учетом погодных и природных особенностей Приморского края. Необходимость данного этапа обусловлена тем, что проведение воздушного лазерного сканирования на юге Приморского края имеет свою специфику. Основные трудности возникают в связи с достаточно сильными локальными ветрами, свойственными данной местности, из-за чего беспилотный летательный аппарат часто работает на предельных значениях мощности и непредсказуемо быстро теряет заряд батареи. Кроме того, проведение воздушного лазерного сканирования осложняется очень плотной древесной и кустарниковой растительностью, а также густым и высоким травянистым покровом, из-за чего основная часть работ производится осенью и весной, когда растительный покров не имеет большой густоты зеленой массы, затрудняющей прохождение лазерных лучей до поверхности земли. Также спецификой Приморского края в контексте воздушных дистан-

ционных методов исследования можно считать высокую плотность объектов, имеющих специальный режим, что также накладывает ряд ограничений в проведении работ беспилотным летательным аппаратом. Вторым этапом было решено провести в весенний период, до появления листвы, что обеспечивало более оптимальные условия для съемки.

Установленный лазерный сканер использует принцип нескольких отражений, что позволяет в итоге получить модель рельефа даже при наличии густой растительности. Облако точек было рассчитано в программе AGM Scanworks Pro, его классификация и редактирование выполнялись в программном комплексе Agisoft Metashape Professional. Результатом такой обработки стало облако точек рельефа, на основании которого была построена цифровая модель.

Обсуждение результатов

По результатам съемки памятника методом воздушного лазерного сканирования установлено, что фортификационная система городища представлена тремя линиями валов (рис. 2), а не одним, как считалось раньше. Внешний вал, вероятно, и был зафиксирован при составлении первого плана памятника в 2012 г. Согласно новым уточненным данным, его площадь составляет 4152 м², а периметр 565,72 м. В 2023 г. был сделан разрез этого вала на западном участке памятника [5]. Высота вала составляла 84–94 см, ширина основания – около 5,5 м. Судя по небольшой глубине рвов вал насыпался из вынутого из них грунта. Рвы могли иметь не только оборонительную, но и вспомогательную функцию, например, служить каналами для отвода воды, т.е. обеспечивать дренаж. На поверхности вала сохранились остатки ям, что может указывать на присутствие в древности каких-либо деревянных конструкций, возможно изгороди. На внутренней поверхности вала выявлено скопление камней, которое могло быть частью покрытия или вымостки. Этот вал наиболее сохранился, он хорошо виден в настоящее время.

Средний вал располагался на расстоянии 4–5 м от внешнего, с максимальным отступом до 6,5 м на западном участке. Его периметр 518,2 м, площадь 2858 м². Высота вала от современной дневной поверхности – около 0,5 м. Очевидно, что этот вал также сложен из рыхлых отложений. По сравнению с внешним он более оплывший, а его северо-западный участок деформирован. Предположительно, часть вала могла завалиться внутрь городища и частично наплывть на западины жилищ.

Внутренний вал располагался на расстоянии 2–2,5 м от второго и 11–16 м от первого. При исследованиях 2024 г. часть вала попала в раскоп 4 в восточной части памятника, благодаря чему были установлены его основные параметры. Вал в настоящее время невысокий, насыпь сохранилась частично (вместе с дерном – около 30 см), часть грунта сползла в котлован жилища, другая, очевидно, переместилась по внешнему склону и заполнила рвы. Формировался вал грунтом из ближайшего рва. Ширина его основания составляла около 3–3,5 м. Этот вал еще более сглажен по сравнению с остальными. Внутренний ров на территории городища к этому валу не прилегал.

С помощью лидарной съемки удалось определить расположение прохода в городище в виде разрыва в защитных валах на восточном участке памятника. Ранее эта конструкция оставалась незамеченной из-за сложных условий рельефа и эрозионных процессов на этом участке памятника. Ширина разрыва между оконечностями третьего вала составляла около 5,5 м, второго вала – более 10 м и первого – около 6,5 м.

Данные съемки были подтверждены начатыми в 2024 г. раскопками на этом участке. В раскоп 2024 г. площадью 56 м² попали оконечности двух рвов и третьего вала. Однако это лишь первый этап исследований, для полного изучения конструкции входа раскоп должен быть увеличен по меньшей мере втрое. Ширина первого рва 2–2,15 м, глубина – около 60 см. Ширина второго рва – 0,9–1 м, глубина – 30–35 см. Важно отметить, что заполнение рвов оказалось весьма насыщенным. По сути это бытовой мусор, который выбрасывал-

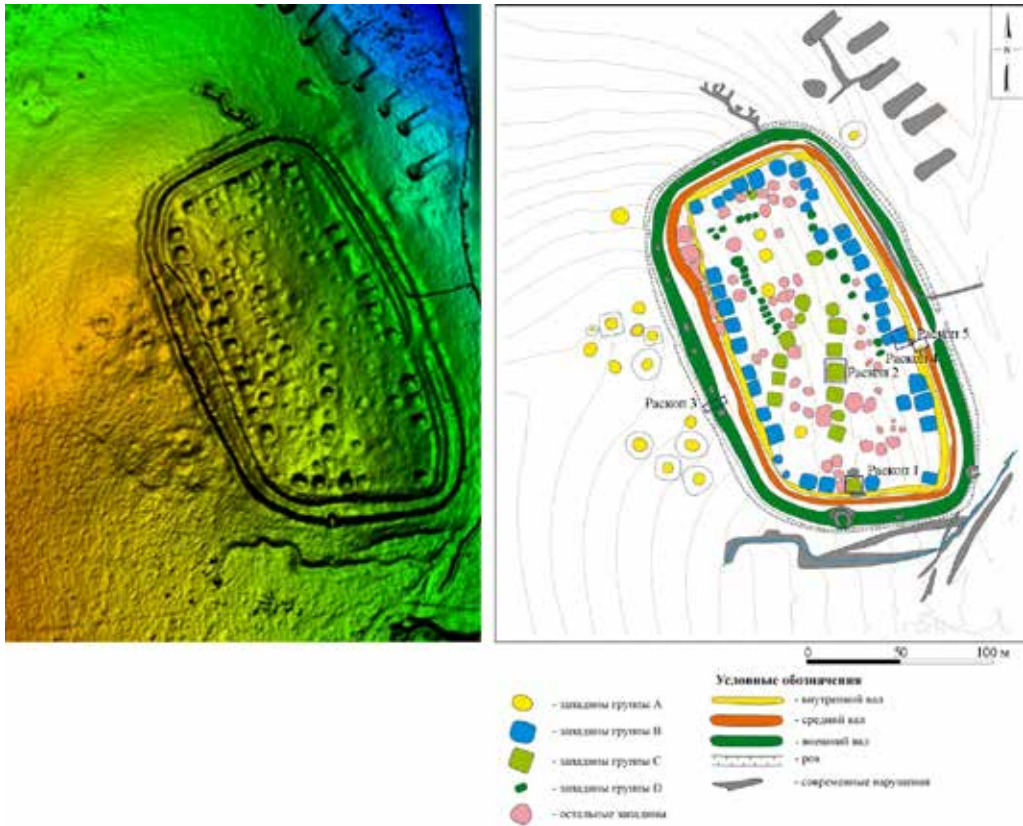


Рис. 2. Цифровая модель и план ОАН «Городище Криничное»

Fig. 2. Digital model and plan of the Krinichnoye ancient settlement

ся за пределы городища. Найдено довольно много органических остатков (карбонизированные семена растений, кости и зубы животных), сохранившихся, вероятно, благодаря особым свойствам почвы во рвах, содержащей золистые включения, а также фрагментов керамической посуды, обломков каменных орудий и металлических изделий.

Кроме того, здесь обнаружены фрагменты стенок круговых сероглиняных сосудов, что, несомненно, указывает на присутствие на памятнике населения в эпоху Средневековья – в период государства Бохай или чжурчжэней. Это обстоятельство позволяет продлить хронологию городища как минимум до X в., а возможно, и до XIII в.

Существенные коррективы новая съемка памятника внесла и в наши представления о количестве, расположении и конфигурации жилищных и хозяйственных западин на территории городища и за его пределами. Если в процессе инструментальной съемки 2012 г. было выявлено 102 западины: 100 на самом городище и две западины на западе, за пределами вала, то применение метода воздушного лазерного сканирования позволило зафиксировать 151 западину: 136 внутри городища и 15 за его пределами.

Точная фиксация местоположения западин (их расположение относительно линий фортификации и друг друга), их параметров (линейные размеры и форма западины) позволила выявить несколько их групп. Опираясь на проведенные полевые исследования, мы можем высказать предположения о хронологии памятника и этапах его заселения.

Группа А. Западины, расположенные за пределами памятника (см. рис. 2). Территория вокруг городища сильно нарушена деятельностью военных: здесь в XX в. располагался Хорольский укрепрайон, и на поверхности видны остатки различных сооружений линии обороны: ДОТы, окопы и блиндажи. Однако, благодаря применению лидара, были

зафиксированы аномалии, имеющие сходство с древними объектами: западины жилищ с обваловкой и хозяйственных ям. Западины неглубокие, практически не видны при пешем осмотре местности. Имеют округлую или подквадратную со скругленными углами форму. Глубина в современном состоянии составляет от 5 до 16 см. Диаметр – около 7 м. Результаты съемки подтверждены археологической разведкой, в ходе которой было заложено несколько археологических шурфов размером 1 × 1 м возле краев западин. Наличие культурного слоя было зафиксировано в каждом из заложённых шурфов. Также в каждом шурфе был обнаружен археологический материал, представленный в основном фрагментами керамических сосудов и каменных орудий. В одном шурфе находился примечательный фрагмент от верхней части тонкостенного горшковидного сосуда с наlepным валиком по тулову. По технико-технологическим и морфологическим признакам он может быть отнесен к эпохе палеометалла. Остальная часть материала менее яркая, и по ней трудно точно установить культурно-хронологическую принадлежность. Таким образом, материал из шурфов позволяет предварительно отнести эти западины к широкому временному периоду – от позднего неолита до эпохи палеометалла. Предварительно мы можем высказать осторожное предположение, что эти западины могут быть связаны с ранним этапом заселения этой территории, возможно до постройки вала. К этому же этапу могут относиться близкие по размерам жилища с обваловкой, расположенные в городище.

Группа В. Западины, расположенные по периметру вала (см. рис. 2). В укрепленной части памятника выделяются западины, идущие по периметру третьего вала. Они преимущественно квадратной или подпрямоугольной формы с закругленными углами. Диаметр большинства западин 8–10 м, глубина до 50–70 см, но есть и небольшие, диаметром 4–5 м и глубиной до 30 см. Всего насчитывается 35 объектов, приуроченных к внутреннему валу. В 2024 г. нами исследована одна из таких западин в восточной части городища, приуроченная к валу [6]. Это оказалось жилище с котлованом прямоугольной формы размерами 5.6 × 5.1 м. Котлован был врезан в пологий склон, поэтому его западная часть заглублена больше – на 53 см, восточная же – на 32 см. В центре жилища располагался неглубокий очаг диаметром 70 см, также в жилище выявлено 9 ям, но из угловых столбов в яму устанавливался только один, остальные укреплялись глиной, остатки которой обнаружены в остальных трех углах постройки.

Одним из ключевых вопросов, определяющих в том числе хронологию памятника, являлось соотношение внутреннего вала городища и исследуемой постройки. В ходе раскопок не обнаружено следов повреждения вала жилищем. Жилище располагалось очень близко к нему, примерно в 0.5 м, но в толщу вала не врезалось. Кроме того, зафиксировано оползание вала в котлован сооружения, произошедшее уже после археологизации постройки. Таким образом, сначала был возведен вал, а жилище построили вплотную к нему.

Анализ археологического материала, полученного из жилища, позволил предварительно отнести его к эпохе палеометалла и датировать в широком хронологическом диапазоне: конец II – I тыс. до н.э. На сегодняшний день комплекс палеометалла Криничного городища не имеет прямых аналогов среди других известных культурных образований на территории Приморья. Кроме того, расположение городища на пологом склоне, конфигурация валов, окружающих его территорию со всех сторон, внутренняя планировка с размещением жилищ вдоль периметра вала являются нетипичными для известных укрепленных поселений этого периода, относящихся по большей части к мысовому типу. Однако в ходе разведочных исследований нескольких последних лет, проводимых сотрудниками ИКЭ ИИАЭ ДВО РАН в западном Приморье, подобные укрепленные поселения были обнаружены. Среди них наибольшее планиграфическое сходство с городищем Криничное обнаруживается на памятниках Нестеровка-6, Ильинка-4, Алексеевка-2, Пархоменко-1 [7–11]. Кроме того, на Нестеровке-6 прослеживается сходство с керамикой эпохи палеометалла Криничного городища. Уже сейчас можно отметить интересную перспективу исследования подобных городищ эпохи палеометалла. Безусловно, этот вопрос требует дальнейше-

го изучения, но сходная и при этом отличающаяся от других поселений структура может указывать на специфический хозяйственно-культурный тип населения, оставившего эти памятники.

Группа С. Два ряда из семи (восточный ряд) и шести (западный ряд) западин в центральной и южной частях памятника (см. рис. 2). Эти ряды идут по диагонали от юго-западного угла городища к северо-восточному, не параллельно валам. Западины прямоугольной формы, размерами 6.4–10 м и глубиной 30–40 см. В 2023 г. нами была раскопана одна из западин восточного ряда. В результате исследования изучено жилище площадью 6.1 × 5.8 м. Жилище расположено на склоне, поэтому его западная стенка сильнее углублена. Бортики котлована слегка наклонные. В полу жилища, на расстоянии 0.8–1 м от края бортиков котлована были выкопаны каналы, по его внутреннему периметру образующие, вероятно, водоотводную систему. Ямы жилища относящиеся к каркасно-столбовой конструкции крыши и стен, располагались в углах котлована, на расстоянии около 1 м от края бортика. Углубленный чашевидный очаг диаметром 64 см и глубиной 22 см располагался почти в центре жилища, с небольшим смещением к западной стенке. Материал из жилища однозначно указывал на его принадлежность к мохэской археологической культуре эпохи раннего Средневековья.

Многолетние исследования поселений мохэской археологической культуры в Приморье показывают, что для них характерна линейная планировка жилищ, что позволяет предварительно отнести эту группу жилищ к мохэской культуре эпохи раннего Средневековья.

Необходимо отметить, что мохэский материал был также получен из шурфа 2012 г. [2] в северной части памятника и из сооружения, примыкающего к южному участку вала, исследованного в 2014 г. Ю.В. Кривулей [3]. Поэтому, возможно, объектов, относящихся к мохэской культуре на городище, может быть больше.

Группа D. Группа западин в северной и центральной частях городища (см. рис. 2). Эти объекты, как правило, прямоугольной или овальной формы, диаметром 2–4 м и глубиной 0.04–0.2 м, они ориентированы по валу городища и расположены четкими рядами вдоль западной линии укреплений на расстоянии 25–30 м от внутреннего вала. Полевые исследования 2025 г. показали, что эти объекты являются остатками хозяйственных ям или построек, принадлежащих к группе жилищ В.

Не совсем пока ясна ситуация на северо-западном участке городища. Здесь несколько западин расположены между двумя валами: внутренним и средним. Дополнительная съемка с помощью геодезического спутникового оборудования позволила выявить контуры шести западин разного размера и уточнить конфигурацию валов на этом участке. Предположительно, валы здесь сильно оплыли и деформировались, и их толщина частично перекрыла западины. Для окончательного решения этой проблемы и в целом вопросов хронологии возведения защитных сооружений требуются дополнительные полевые исследования. Пока мы можем с большой долей уверенности говорить об одновременной постройке внутреннего вала и группы жилищ В. Время сооружения остальных двух валов пока остается неизвестным. Вопросы о том, связано ли их строительство с изменениями в планировке или необходимостью в дополнительном укреплении поселения в эпоху палеометалла, или же они имеют более позднее происхождение, могут быть решены в ходе дальнейших археологических исследований. Отметим, что сложности с интерпретацией связаны в первую очередь с недостаточной изученностью укреплений как периода палеометалла, так и раннего Средневековья, что не позволяет делать выводы на основе аналогий.

Выводы

Совместные исследования ученых ТИГ и ИИАЭ ДВО РАН на городище Криничное и археологического памятника позволили уже на первом этапе добиться интересных результатов и открыли новые горизонты для дальнейших изысканий.

В результате применения метода воздушного лазерного сканирования составлен детализированный план городища, полностью пересмотрена система его фортификации. Установлено наличие трех оборонительных валов, выявлен проход в городище на восточном участке памятника. Одно из объяснений столь сложной фортификации может заключаться в длительности ее формирования.

Уточнено расположение и количество западин в городище. Всего в пределах валов зафиксировано 136 западин древних сооружений. Выделены группы западин, относящиеся к различным периодам заселения памятника. Исследован ландшафт и за пределами городища. Выявленные здесь 15 западин, предположительно, относятся к раннему, «догородищенскому» этапу заселения данной территории. Предварительная датировка городища на сегодняшний день, на основании обнаруженного археологического материала, охватывает широкий диапазон от эпохи палеометалла до периода Средневековья. Также мы не исключаем возможность обнаружения здесь культурных отложений эпохи неолита в период до появления городища.

Осталось еще немало вопросов, связанных с хронологией постройки вала, определения культурной и хронологической принадлежности остальных западин, устройства прохода в городище, что определяет дальнейшие направления научного поиска.

Итоги совместной работы ученых двух институтов ДВО РАН демонстрируют важность междисциплинарного подхода и указывают на необходимость продолжения дальнейшего исследования для полного понимания хронологии, структуры и функций городища.

Благодарности. Полевые исследования 2023–2024 гг. на городище Криничное выполнены при поддержке гранта РФ «Археология Дальнего Востока» (проект № 20-18-00081).

Acknowledgments. Fieldworks in 2023–2024 at the Krinichnoye ancient settlement was supported by a grant from the Russian Science Foundation «Archaeology of the Far East» (project no. 20-18-00081).

Литература

1. Новиков В.С. Воздушное лазерное сканирование на базе БПЛА для изучения объектов археологии в Европейской части России // Поволжская археология. 2022. № 1 (39). С. 232–246.
2. Батаршев С.В. Отчет об археологических исследованиях на территории Приморского края в 2012 году. Архив ИА РАН. Ф-1. Р-1. № 34066. 147 л., 92 ил.
3. Кривуля Ю.В. Отчет об археологических исследованиях на поселении Михайловка-4 (Михайловский район) и Криничном городище (Хорольский район) в Приморском крае в 2014 г. Архив ИА РАН. Р-1. № 17421. 168 л.
4. Клюев Н.А., Батаршев С.В., Гладченков А.А., Гридасова И.В., Дорофеева Н.А., Крутых Е.Б., Малков С.С., Морева О.Л., Слепцов И.Ю., Якупов М.А., Юн Хенг Чжун, Ким Дон Хун, Им Ну Ри. Археологические памятники эпохи палеометалла и раннего Средневековья Приморья. По материалам исследований 2012–2013 гг. Институт истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН; Государственный исследовательский институт культурного наследия Республики Корея. Сеул: Тэджон, 2014. 412 с.
5. Анзулис Я.Е. Отчет об археологических раскопках на территории выявленного объекта археологического наследия «Городище Криничное» в Хорольском муниципальном округе Приморского края в 2023 г. Архив ИА РАН. Ф-1. Р-1. № 80805. 204 л.
6. Анзулис Я.Е. Отчет об археологических раскопках на территории выявленного объекта археологического наследия «Городище Криничное» в Хорольском муниципальном округе Приморского края в 2024 г. Архив ИИАЭ ДВО РАН. Ф. 1. Оп. 2. № 932. 240 л.
7. Шаповалов Е.Ю. Отчет об археологической разведке на территории Михайловского, Надеждинского, Октябрьского, Ханкайского районов и Уссурийского городского округа Приморского края в 2021 г. Архив ИА РАН. Ф-1. Р-1. № 89678. 322 л. 290 л.
8. Шаповалов Е.Ю. Отчет об археологической разведке на территории Ханкайского муниципального округа Приморского края в 2024 году. Архив ИИАЭ ДВО РАН. Ф. 1. Оп. 2. № 941. 125 л.
9. Бурдонов А.В. Отчет об археологической разведке на территории Пограничного, Ханкайского и Хорольского районов Приморского края в 2022 году. Архив ИА РАН. Ф-1. Р-1. № 81189. 322 л.
10. Бурдонов А.В. Отчет об археологической разведке на территории Ханкайского муниципального округа и Уссурийского городского округа Приморского края в 2023 г. Архив ИИАЭ ДВО РАН. Ф. 1. Оп. 2. № 962. 178 л.
11. Белов Д.М. Отчет о разведочных археологических работах в Пограничном муниципальном округе Приморского края в 2021 г. Архив ИА РАН. Ф-1. Р-1. № 78251.

References

1. Novikov, V.S. Airborne laser scanning using UAVs for studying archaeological sites in European Russia. *Volga Archaeology*. 2022, 1(39), 232–246 (In Russian).
2. Batarshov, S.V. Report on archaeological investigations in Primorsky Krai in 2012. Archive of the Institute of Archaeology of the RAS. F-1; R-1; No. 34066. 147 pages, 92 illustrations (In Russian).
3. Krivulya, Yu.V. Report on archaeological investigations at the Mikhaylovka-4 settlement (Mikhaylovsky District) and Krinichnoye settlement (Khorolsky District) in Primorsky Krai in 2014. Archive of the IA RAS. R-1; No. 17421. 168 pages (In Russian).
4. Klyuev, N.A.; Batarshov, S.V.; Gladchenkov, A.A.; Gridasova, I.V.; Dorofeeva, N.A.; Krutykh, E.B.; Mal'kov, S.S.; Moreva, O.L.; Sleptsov, I.Yu.; Yakupov, M.A.; Yoon Hyeong Jung; Kim Don Hoon; Im Nu Ri. Archaeological sites of the Paleometal and Early Medieval periods of Primorsky Krai: Materials from research conducted in 2012–2013. Institute of History, Archaeology and Ethnography of the Peoples of the Far East (Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences); State Research Institute of Cultural Heritage of the Republic of Korea – Seoul: Tajeon. 2014. 412 p. (In Russian).
5. Anzulis, Y.E. Report on archaeological excavations at the identified archaeological heritage site “Krinichnoye Settlement” in Khorolsky Municipal District, Primorsky Krai, 2023. Archive of the IA RAS. F-1; R-1; No. 80805. 204 pages (In Russian).
6. Anzulis, Ya.E. Report on archaeological excavations on the territory of the identified archaeological heritage site “Krinichnoye Settlement” in the Khorolsky Municipal District of Primorsky Krai in 2024. Archive of the IHAE FEBRAS. F.1. op.2, No. 932. 240 p. (In Russian).
7. Shapovalov, E.Yu. Report on archaeological reconnaissance in the territories of Mikhaylovsky, Nadezhdinsky, Oktyabrsky districts and Ussuriysk Urban District of Primorsky Krai in 2021. Archive of the IA RAS. F-1; R-1; No. 89678. 322 p. 290 p. (In Russian).
8. Shapovalov, E.Yu. Report on archaeological reconnaissance in Khankaysky Municipal District of Primorsky Krai in 2024. Archive of the IHAE FEBRAS. F.1. op. 2, No. 941. 125 p. (In Russian).
9. Burdonov, A.V. Report on archaeological reconnaissance in the territories of Pogranichny, Khankaysky, and Khorolsky districts of Primorsky Krai in 2022. Archive of the IA RAS. F-1; R-1; No. 81189. 322 p. (In Russian).
10. Burdonov, A.V. Report on archaeological reconnaissance in the territories of Khankaysky Municipal District and Ussuriysk Urban District of Primorsky Krai in 2023. Archive of the IHAE FEBRAS. F.1. op.2, No. 962. 178 p. (In Russian).
11. Belov, D.M. Report on reconnaissance archaeological works in Pogranichny Municipal District, Primorsky Krai, in 2021. Archive of the IA RAS. F-1; R-1; No. 78251 (In Russian).

Статья поступила в редакцию 15.07.2025; одобрена после рецензирования 7.08.25; принята к публикации 5.9.2025.

The article was submitted 15.07.2025; approved after reviewing 7.08.2025; accepted for publication 5.9.2025.





Оценка роли лесов Волжского бассейна в регуляции углеродного цикла при глобальных изменениях климата (эмпирико-имитационный прогнозный анализ)

Эрланд Георгиевич КОЛОМЫЦ
доктор географических наук, ведущий научный сотрудник
egk2000@mail.ru
Пушкинский научный центр РАН, Институт фундаментальных проблем биологии, Пушкино,
Россия

Аннотация. На примере Волжского бассейна проведен прогнозный анализ удельных и суммарных углеродных балансов лесных формаций по модели E GISS – умеренного варианта глобального потепления, отвечающего целям Парижского (2015 г.) Соглашения по изменению климата. Прогноз базируется на эмпирически установленных ландшафтно-экологических связях, которые рассматриваются в качестве механизмов метаболических реакций лесных экосистем на определенные климатические тренды. В этом состоит новизна разработанной автором прогностической эмпирико-имитационной концепции регионального и локального геоэкологического мониторинга. Ординационный анализ ландшафтных связей направлен на выявление переходов лесных сообществ в критические состояния по основным дискретным параметрам биологического круговорота. Центральное звено мониторинга – ландшафтно-экологический прогноз – имеет экспериментальный характер. Он представлен как система операций с экологическими нишами изучаемых объектов. В расчетных моделях ход прогнозируемых процессов воспроизводится с помощью их эмпирической имитации пространственно распределенными параметрами базовых экологических ниш. Описание будущих состояний биогеоценотических систем ведется по их современной пространственной организации в соответствии с фундаментальными свойствами эргодичности природной среды. Дана количественная оценка экологических ресурсов лесного покрова как его способности смягчать климатические колебания с помощью механизмов регуляции углеродного цикла. Изложены методы расчетов и картографирования объемов поглощения / эмиссии лесами парниковых газов при потеплении и похолодании. Приведены количественные показатели стока и эмиссии CO₂ в различных зонально-региональных условиях Восточно-Европейского субконтинента. Прогнозируется, что замещение коренных лесов производными может привести к двух-; трехкратному сокращению их абсорбционного потенциала. Таковой была вызванная человеком общая потеря экологических ресурсов лесного покрова Волжского бассейна со времен начала здесь интенсивного земле- и лесопользования.

Ключевые слова: лесные формации, углеродный баланс лесов при изменении климата, экологические ресурсы регуляции углеродного цикла, прогнозные ландшафтно-экологические модели

Для цитирования: Коломыц Э.Г. Оценка роли лесов Волжского бассейна в регуляции углеродного цикла при глобальных изменениях климата (Эмпирико-имитационный прогнозный анализ) // Тихоокеанская география. 2026. № 1. С. 38–54. https://doi.org/10.35735/26870509_2026_25_3.

Assessment of the role of forests of the Volga basin in the regulation of the carbon cycle under global climate change (empirical-simulation forecast analysis)

Erland G. KOLOMYTS

Doctor of Geographical Sciences, Leading research associate

egk2000@mail.ru

Pushchino Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Institute of Basic

Biological Problems, Pushchino, Russia

Annotation. Using the Volga Basin as an example, a predictive analysis of the specific and total carbon balances of forest formations was conducted using the E-GISS model as a moderate global warming scenario consistent with the goals of the 2015 Paris Agreement on Climate Change. The forecast is based on empirically established landscape-ecological relationships, which are considered as mechanisms of metabolic responses of forest ecosystems to specific climatic trends. This is the novelty of the author's predictive empirical-simulation concept of regional and local geo-ecological monitoring. The ordination analysis of landscape relationships is aimed at identifying the transitions of forest communities to critical states based on the main discrete parameters of the biological cycle. The central element of the monitoring, the landscape-ecological forecast, is experimental in nature. It is presented as a system of operations with the ecological niches of the studied objects. In the computational models, the course of the predicted processes is reproduced using their empirical imitation by spatially distributed parameters of the basic ecological niches. The future states of biogeocoenotic systems are described based on their current spatial organization in accordance with the fundamental properties of environmental ergodicity. A quantitative assessment of the ecological resources of forest cover is provided, as is its ability to mitigate climate fluctuations through carbon cycle regulation mechanisms. Methods for calculating and mapping the volumes of greenhouse gas absorption/emission by forests during warming and cooling are presented. Quantitative indicators of CO₂ runoff and emission are presented under various zonal and regional conditions of the Eastern European subcontinent. It is predicted that the replacement of primary forests with derivatives may lead to a two- to three-fold reduction in their adsorption potential. This has been the overall human-induced loss of ecological resources of the Volga Basin forest cover since the onset of intensive land and forest management.

Keywords: forest formations, carbon balance of forests under climate change, ecological resources for carbon cycle regulation, predictive landscape-ecological models

For citation: Kolomyts E.G. Assessment of the role of forests of the Volga basin in the regulation of the carbon cycle under global climate change (empirical-simulation forecast analysis). *Pacific Geography*. 2026;(1):38-54. (In Russ.). https://doi.org/10.35735/26870509_2026_25_3.

Введение

Проблема взаимодействия наземных экосистем и климатической системы через круговорот углерода, с оценкой парникового эффекта атмосферы, к настоящему времени освещена уже достаточно широко как в отечественной, так и в зарубежной литературе [1–6]. Основное внимание уделяется разработке методики определения углеродных пулов в различных компонентах фитобиоты и в почве, а также созданию базы данных по современному содержанию углерода в лесных, болотных и других экосистемах. Например, в работе [7] описана методика составления с помощью спутниковых и наземных данных гибридной геоботанической карты для России, которая включает в себя как классы на-

земного покрова, так и некоторые преобладающие породы деревьев. На этой основе и с помощью наземных измерений запасов органического углерода в слое почвы 0–100 см построена карта запасов углерода для России с разрешением в 1 км [8]. Удалось также построить прогноз глобального содержания углерода в океане, атмосфере и растительности до 2100 г., оценить рост содержания CO₂ в атмосфере и его влияние на температуру воздуха [9].

В оценках запасов и баланса углерода как в региональном, так и в глобальном масштабе наиболее эффективным признан разработанный в ИААА (International Institute for Applied Systems Analysis) ландшафтно-экологический подход LEA (landscape-ecological approach), объединяющий внушительную информацию о растительности, почвах и гидрологии в ГИС [10].

Глобальные прогнозные оценки роли лесного покрова в регуляции парникового эффекта атмосферы представлены в мелкомасштабных сценариях углеродного бюджета циркумполярных бореальных лесов Евразии и Северной Америки на основе корреляционных связей их биомов с ареалами температуры и осадков [5, 11, 12]. Ожидаемые воздействия изменений климата на леса России и механизмы адаптации лесов рассматриваются для использования последних в качестве средств смягчения климатических сигналов. Это входит в развиваемую в работе [13] концепцию перехода к устойчивому управлению лесами России.

Поведение региональных и локальных лесных образований в условиях меняющегося климата остается гораздо менее изученным, что затрудняет прогнозы биотической регуляции химического состава атмосферы и соответствующей роли лесов в смягчении предстоящего и уже начавшегося глобального потепления. Какие-либо устоявшиеся методические разработки в данной области до сих пор отсутствуют.

Состояние проблемы

В Парижском (2015 г.) Соглашении по Рамочной конвенции ООН об изменении климата указано, что к числу регулирующих мер по снижению углекислого газа в атмосфере, начиная с 2020 г., относится осуществление действий по предотвращению изменений климата с использованием абсорбции CO₂ экосистемами [14]. Во избежание глобальной экологической катастрофы рекомендуется принимать меры, чтобы потепление к 2050 г. не превысило 1.5–2.0 °С. Одной из этих мер является «достижение баланса между возникающими в результате деятельности человека парниковыми газами и их поглощением морями и лесами» (Ст. 4 Парижского Соглашения).

Первичные (коренные или девственные) леса Земли сохранились на площади около 13.5 млн км², что составляет 40 % территории суши. При этом почти половину из них представляют бореальные леса, которые обеспечивают свыше 90 % стока углерода всех мировых бореальных лесов [12]. Среди бореальных лесов более 51 % приходится на девственные леса России. В биоклиматической интерпретации это климаксные и близкие к ним квазиклимаксные лесные сообщества (хвойные, смешанные и широколиственные), знаменующие собой заключительный этап эндоэкогенетических (восстановительных) сукцессий [15], состоящих из серии производных (вторичных) мелколиственных формаций – главным образом березняков и осинников.

Финальный сукцессионный этап приводит структуру и функционирование лесного сообщества в соответствие с данными зонально-региональными климатическими условиями, в результате чего стабилизируется его биомасса и восстанавливается замкнутость биологического круговорота. Тем самым обеспечивается наиболее высокая эффективность работы почвенно-биотических механизмов стабилизации и регулирования окружающей среды. Эту эффективность можно трактовать как определенный *экологический ресурс* лесного сообщества [15], «... обеспечивающий оптимальные условия для существования

человека и всего живого» [16, с. 10]. Следовательно, *коренные климаксные и близкие к ним лесные образования, в отличие от образований производных, должны обладать максимальным экологическим ресурсом*. Задача поддерживать способность лесов выполнять функции по смягчению изменений климата с помощью механизмов биотической регуляции углеродного цикла входит в стратегию устойчивого управления лесами [12].

В данной статье рассматриваются экологические ресурсы двух условных типов леса – восстановленных коренных и реальных (коренных + производных). Прогнозные климатические сценарии взяты по модели E GISS [17, 18] из семейства моделей общей циркуляции атмосферы AOGCMs. Эта модель дает пределы климатических изменений, соответствующие целям Парижского Соглашения. В бореальном поясе Волжского бассейна к 2050 г. ожидается понижение средней июльской температуры на $-0.5 \div 1.9^\circ$, с ростом коэффициента атмосферного увлажнения Высоцкого-Иванова ($K_{увл}^c$) с 1.15–1.52 до 1.27–1.79 (гумидизация), а к 2150 г. – ее повышение на $0.5 \div 0.7^\circ$ при уменьшении $K_{увл}$ до 1.36–1.00 (аридизация). Оба прогнозных срока рассматривались безотносительно к их временной привязке, т.е. они использованы как модели для ответа на вопрос, «что будет, если ...». Сама же прогнозно-климатическая модель используется в качестве иллюстрации.

Цель и задачи исследования

В основе известной концепции биотической регуляции углеродного цикла и определяющих ее природных процессов [19–21] лежат идеи о *биогеоценозах как элементарных единицах биологического круговорота* [22], *играющих ключевую роль в газообмене земной поверхностью с атмосферой на основе принципа Ле Шателье*. Следовательно, механизмы этой регуляции познаются наиболее глубоко на топологическом уровне природно-территориальной организации, что и послужило целью настоящего исследования. Основная задача состояла в проведении эмпирико-имитационного прогнозного эксперимента по решению данной проблемы методами ландшафтной экологии, которые ранее освещены в работе [23]. Волжский бассейн послужил достаточно репрезентативным объектом для проведения эксперимента.

Излагаемый в статье локальный (и региональный) прогноз влияния лесов на содержание парниковых газов в атмосфере при глобальных изменениях климата основан на построении *дискретных эмпирико-статистических моделей* их структуры и функционирования [13]. При реализации данных моделей реализован *метод эмпирической имитации* прогнозируемых геоэкологических ситуаций. В нем материалы натуральных исследований используются не в качестве проверки тех или иных расчетных данных, а как фактологическая база самого моделирования. Возможности широко применять в прогножном анализе данные полевых ландшафтных исследований, а также различные картографические материалы позволяют получать результаты с высокой степенью пространственного разрешения и эмпирически обоснованно выходить на достаточно широкие географические обобщения.

Исходные материалы

Объектами анализа послужили лесные биогеоценозы 8 экспериментальных полигонов основного водосбора Волжского бассейна (рис. 1), на которых в течение 1987–1998 гг. были проведены крупномасштабные ландшафтные съемки по специально разработанной методике [23]. Это было время окончания базового периода 1880–1985 гг., после которого, как известно [24], началось современное глобальное потепление. Полигоны охватывают основной зональный спектр растительного покрова Верхнего и Среднего Поволжья – от южной тайги до южной лесостепи. Каждый полигон на основе 42–53 проб-

ных площадей характеризовал *локальные пространственно сопряженные ансамбли (катенарные системы) лесных сообществ* в соответствующем экорегионе. Материалы ландшафтных съемок на полигонах относятся к локальному (топологическому) уровню организации лесных экосистем.

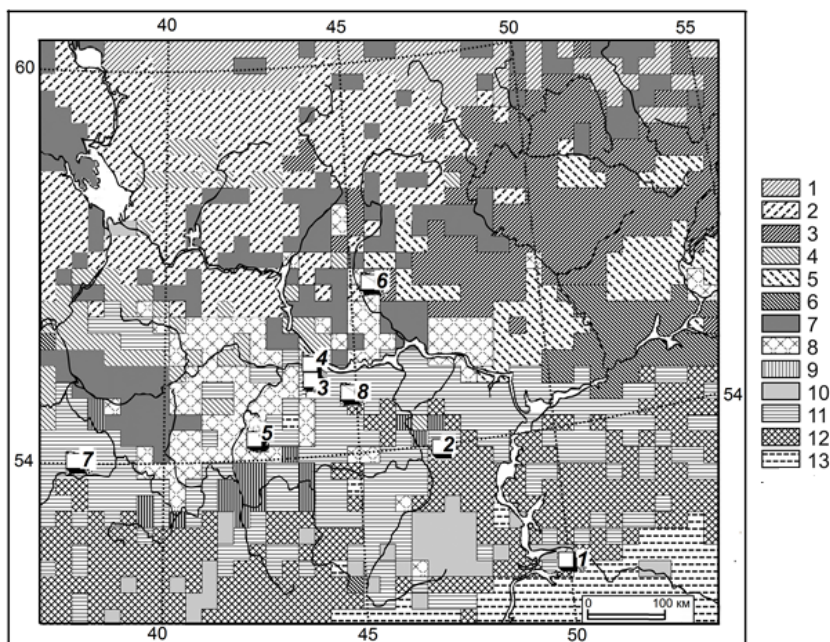


Рис. 1. Расположение экспериментальных полигонов на территории основного водосбора Волжского бассейна, представленного растровой базовой картой зонально-провинциальных групп коренных растительных формаций (современных + восстановленных). Карта разработана и составлена автором при участии Л.С. Шарой.

Номера экспериментальных полигонов: 1 – Жигули; 2 – Присурье; 3 – Зеленый Город; 4 – Щелоковский Хутор; 5 – Выкса; 6 – Керженец; 7 – Приокско-Террасный резерват; 8 – Кудьма. 1–13 – группы коренных растительных формаций (см. в табл. 1)

Fig. 1. Location of experimental sites within the main Volga basin watershed, represented by a raster base map of zonal-provincial groups of native plant formations (modern + restored). The map was compiled by the author with the participation of L.S. Shara. Experimental site numbers: 1 – Zhiguli; 2 – Prisurye; 3 – Zeleny Gorod; 4 – Shchelokovsky Khutor; 5 – Vyksa; 6 – Kerzhenets; 7 – Prioksko-Terrasny Reserve; 8 – Kudma. 1–13 – groups of native plant formations (see Table 1)

Данные базовых запасов углерода взяты с подробных карт масштаба 1 : 2 000 000 – 1 : 2 5 000 000 [25, 26] и разнесены по 52 группам растительных формаций. Данные карты создавались в тот же период времени, когда нами проводились ландшафтные съемки (1987–1996 гг.). Эти геоботанические материалы не потеряли своей актуальности до настоящего времени. Установлено [27], что за период 1968–2008 гг. в Европейской части России площади земель, покрытых и не покрытых лесом, изменились на 6–8 % , что едва превышает точность самого геоботанического картографирования. Несущественные изменения произошли и в породной структуре лесов. Доля хвойных пород в составе покрытых лесом земель снизилась на 4 %, а доля мягколиственных пород увеличилась на 5 %. По спутниковым данным в течение 2000–2015 гг. площадь лесов России сократилась всего на 2.4 %, причем у темнохвойных, светлохвойных и лиственных пород это уменьшение составило соответственно 7.8 %, 1.9 и 5.8 % [28].

Новейшая мелкомасштабная карта лесного покрова России, полученная методами дистанционного зондирования лесов из космоса [27, 28], оказалась нерепрезентативной.

Классификационная схема коренных растительных формаций основного водосбора Волжского бассейна и его окружения

Table 1. Classification scheme of native plant formations of the main Volga River catchment and its surroundings

Фитоценологические единицы, по (Грибова и др., 1980)			Группы растительных формаций	
Зональные типы и классы	Региональные варианты	Подзональные подтипы	Краткая характеристика	Номер и символ
Темнохвойные и широколиственно-темнохвойные леса (производные осиново-березовые)	Восточно-европейские (верхневолжские)	Среднетаежные	Еловые кустарничково-зеленомошные	1
		Южнотаежные	Еловые кустарничково-травяные	2
		Подтаежные	Широколиственно-еловые сложные неморальнотравяные	3
	Камско-печерско-западно-уральские	Средне- и южнотаежные	Пихтово-еловые и елово-пихтовые травяно-кустарничковые зеленомошные и травяные	4
		Подтаежные	Пихтово-еловые сложные неморальнотравяные	5
			Широколиственно-пихтово-еловые неморальнотравяные	6
Сосновые и широколиственно-сосновые леса (производные осиново-березовые)	Восточно-европейские (верхневолжские)	Средне- и южнотаежные	Сосновые с елью кустарничково-зеленомошные	7
		Подтаежные	Сосновые (с дубом в подлеске) кустарничково-травяные	8
			Широколиственно-сосновые и сосновые сложные с елью	9
	Лесостепные и степные	Сосновые и широколиственно-сосновые разнотравно-злаковые	10	
Широколиственные леса	Восточно-европейские	Северо-лесостепные	Липово-дубовые и дубовые	11 a
			Липовые с примесью других широколиственных пород	11 б
Типичная и южная лесостепь	Причерноморского типа	Типичные лесостепные	Луговые степи в сочетании с лесами из дуба	12
		Южно-лесостепные	Богаторазнотравно-типчакково-ковыльные степи	13

Выделенные на этой карте категории лесов совершенно не соответствуют принятому в традиционной геоботанике содержательному смыслу понятий «классы растительных формаций» и «типы растительности» [29], на основе которых и построена классификация растительного покрова Волжского бассейна.

Методы анализа

Расчет углеродных балансов лесных экосистем при потеплении и похолодании. Для оценок изменений содержания углерода в различных биотических компонентах был применен известный лесоводственный метод [30], основанный на динамике *экомасс* (живых и мертвых фитомасс, а также гумусной массы) и дающий наиболее эффективные

результаты за большие промежутки времени. При этом реализован известный кибернетический подход, согласно [31], когда сами экомассы для каждого прогнозируемого срока рассматривались как определенные функциональные характеристики на «выходе» системы, без детального анализа метаболических процессов «черного ящика». Изменение массы потока углерода в системе почва–растение–атмосфера $\Delta C(Fa)$ рассчитывалось как

$$\Delta C(Fa) = \Delta C(WD) + \Delta C(ML) + \Delta C(HU) - \Delta C(BS) - \Delta C(BV) - \Delta C(BR).$$

Здесь представлены углеродные пулы следующих экомасс: *BS* – живой скелетной древесно-кустарниковой; *BV* – общей зеленой массы всех растительных ярусов; *BR* – общей массы корней; *WD* – мертвой древесно-кустарниковой фитомассы (дебриса); *ML* – массы лесной подстилки (опад+отпад+мор); *HU* – массы лабильного гумуса.

Рассчитываемые по данному уравнению значения параметра $\Delta C(Fa)$ характеризуют *динамический* (так будем его называть) *углеродный баланс лесных экосистем*, обусловленный *изменениями баланса депозита и эмиссии углерода* в почвенно-растительном покрове под воздействием устойчивой смены климатических условий. Это, так сказать, баланс балансов – как соотношение прогнозных балансов и баланса конца базового периода.

Алгоритмы расчетов изложены в работе [19]. Каждый член правой части представленного уравнения может иметь как положительные, так и отрицательные значения. При положительных величинах первые три слагаемых дают прибавку эмиссии CO_2 из почвенно-растительного покрова в атмосферу, а вторые – убыль этого потока. В данном случае пулы мортмассы выступают в качестве дополнительного источника углерода, а живая фитомасса играет роль его стока (депонирования). При отрицательных же значениях указанных параметров картина обратная. В итоге складывается *общий баланс изменений углеродного обмена между биогеоценозами и атмосферой* [$\pm \Delta C(Fa)$], который показывает, поглощает ли данная группа лесных биогеоценозов *дополнительное количество CO_2* из атмосферы в результате климатогенных сдвигов в биологическом круговороте или, наоборот, становится источником его *дополнительных выбросов*. При термоаридном климатическом сигнале в первом случае осуществляется отрицательная обратная связь, направленная на выполнение принципа Ле Шателье [15] по стабилизации или даже ослаблению первичного сигнала, а во втором – связь положительная, которая ведет к усилению парникового эффекта атмосферы, а следовательно и самого потепления.

При похолодании те же слагаемые углеродного баланса играют прямо противоположную роль, если оценивать их вклад в ослабление этого похолодания. При отрицательных значениях суммы [$\Delta C(BS) + \Delta C(BV) + \Delta C(BR)$] и положительных [$\Delta C(ML) + \Delta C(WD) + \Delta C(HU)$] можно говорить о позитивной биотической регуляции холодного климатического сигнала, направленной на его ослабление. В противном случае эта регуляция окажется негативной, т.е. усиливающей похолодание.

Функциональная ординация лесных биогеоценозов. Расчеты прогнозируемых значений живых и мертвых фитомасс для различных сценариев изменений климата проводились по результатам их гидротермической ординации в различных зонально-региональных и локальных условиях. Функциональная ординация проведена по температуре почвы на глубине 50 см и запасам летней продуктивной влаги в слое почвы 0–50 см. С этими параметрами метаболические характеристики лесных сообществ обнаруживают наиболее тесные связи. Как показывают полученные уравнения, корреляции не всегда достаточно высоки, хотя и вполне значимы (табл. 2). При описании сложных многокомпонентных биологических систем значения коэффициентов корреляции и детерминации не могут быть высокими, так как уравнение регрессии чаще всего описывает связи рассматриваемого объекта с условиями окружающей среды, а биологическая система и ее компоненты существуют по своим внутренним законам [32]. Слабая связь может интерпретироваться как общая тенденция изменения данного метаболического параметра под влиянием геофизического тренда на фоне значительного «шумового» воздействия других факторов регионального и локального порядка.

Таблица 2

Примеры расчетных моделей, описывающих изменения параметров малого биологического круговорота в биогеоценозах экорегионов Среднего и Верхнего Поволжья под влиянием трендов температуры и влагосодержания почвы в вегетационный период

Table 2. Examples of computational models describing changes in the parameters of minor biological turnover in biogeocenoses of the Middle and Upper Volga ecoregions under the influence of temperature and soil moisture content trends during the growing season

Вид модели (расчетная формула) *	Экспериментальные полигоны (см. рис. 1)	Параметры (см. в тексте)	Коэффициенты			Статистические характеристики**		
			b_0	b_1	b_2	R	P	S_y
$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2$	6. Присурье	<i>BV</i>	21.93	-0.7415	-0.7135	0.664	0	3.09
		<i>HU</i>	5.99	0	55.75	0.696	0	20.29
	3. Зеленый Город	<i>BR</i>	8.712	5.838	-0.0678	0.582	$0.1 \cdot 10^{-3}$	17.92
		<i>HU</i>	16.34	-0.2402	0.07426	0.713	0	
	4. Щелоковский Хутор	<i>ML</i>	27.18	-2.333	0.04896	0.717	0	6.51
$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2^2$	1. Жигули	<i>WD</i>	642.1	-114.7	5.142	0.936	0	2.21
		<i>HU</i>	88.54	-0.3988	0.00519	0.781	0	42.0
$y = \exp(b_0 + b_1/x_1)$	6. Керженец	<i>WD</i>	22.85	-0.2588	0.00149	0.72	0	12.78
		<i>HU</i>	8.84	0.0091	0.0006	0.851	0	8.03
	7. Приокско-Террасный резерват	<i>BS</i>	244.6	0.3956	-0.00312	0.557	$0.7 \cdot 10^{-3}$	71.4
		<i>HU</i>	25.31	0.0159	0.00042	0.577	$0.4 \cdot 10^{-3}$	16.32
	8. Кудьма	<i>ML</i>	0.0845	35.08	–	0.506	0	16.0
<i>WD</i>		-4.389	64.63		0.642	0	7.0	
5. Выкса	<i>ML</i>	0.3274	46.81	–	0.798	0	0.34	

* x_1 – температура почвы на глубине 50 см (t_{50}); x_2 – запасы продуктивной влаги в слое почвы 0–50 см ($W-50$); x_3 – средневзвешенный (по массе древесины различных пород) возраст леса.

** R – коэффициент корреляции; P – уровень значимости (критерий Пирсона); S_y – стандартное отклонение. Полу жирным шрифтом выделены коэффициенты при значимых аргументах в уравнениях множественной регрессии.

Для перехода с локального уровня на региональный, с получением углеродных балансов растительных формаций, использован предложенный нами метод *индукционно-иерархической экстраполяции*, основанный на явлении полизональности локальных гео(эко-) систем как форме их реакции на глобальные изменения климата [18]. В результате были получены осредненные парциальные и суммарные значения базового содержания углерода в коренных и производных лесных формациях Средней полосы Европейской России, в том числе в лесо-болотных комплексах, а также в лесных угодьях.

В процессе обобщения по каждой лесной формации, с одной стороны, интегрировались локальные геоморфологические и гидро-термоэдафические условия ее формирования, а с другой – осреднялись возрастные показатели лесообразующих пород в каждом множестве пробных площадей, что «стирало» соответствующий разброс продуктивности и позволяло получить некоторые средние для каждой группы формаций значения как базового содержания углерода в различных пулах, так и прогнозируемого углеродного баланса. Таким образом, каждая лесная формация описывалась *осредненными зонально-региональными ресурсами регуляции углеродного цикла*. Эти ресурсы складываются из топологического разнообразия абиотической среды и уровней функционирования биогеоценозов, входящих в данную формацию.

Результаты и обсуждение

Базовые запасы углерода в растительных формациях. По удельным базовым запасам углерода (рис. 2) доминируют средне- и южнотаежные, пихтово-еловые и ело-

во-пихтовые травяно-кустарничковые, зеленомошные и травяные леса бассейна Ветлуги и ветлужско-камского междуречья (от 186 до 204 т/га). Эти леса обладают наиболее высоким фотосинтетическим потенциалом. Они характеризовались нами из материалов экспериментальных полигонов по соответствующим биогеоценозам с наиболее развитой возрастной фитоценотической структурой. К ним приближаются леса липово-дубовые и дубовые, а также липовые с примесью других широколиственных пород Окско-Волжского Возвышенного Правобережья, с суммарными запасами углерода 178–186 т/га. Это говорит о том, что топоаналогия этих лесных формаций находилась в субклимаксом состоянии. В лежащих южнее лесостепных и степных широколиственно-сосновых и сосновых разнотравно-злаковых лесах в верховьях Оки, Цны и Суры и далее в Высоком Заволжье базовые углеродные резервы также достаточно высоки (до 180–186 т/га).

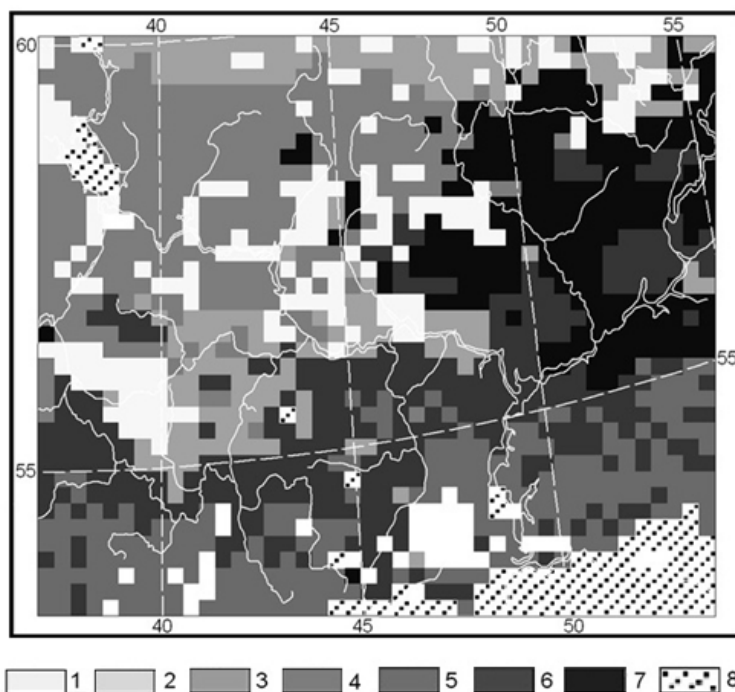


Рис. 2. Распределение удельных базовых запасов углерода в восстановленных коренных лесных формациях основного водосбора Волжского бассейна (см. рис. 1). Растровая карта рассчитана и составлена Л.С. Шарой.

Базовые запасы углерода (т/га): 1 – 145–150; 2 – 151–160; 3 – 161–177; 4 – 178–180; 5 – 181–185; 6 – 186–188; 7 – 189–204; 8 – нет данных (озера, водохранилища и территории с отсутствием лесов)

Fig. 2. Distribution of specific baseline carbon stocks in restored primary forest formations of the main watershed of the Volga Basin (see Figure 1). The raster map was calculated and compiled by L.S. Shara. Baseline carbon stocks (t/ha): 1 – 14–150; 2 – 151–160; 3 – 161–177; 4 – 178–180; 5 – 181–185; 6 – 186–188; 7 – 189–204; 8 – no data (lakes, reservoirs, and forest-free areas)

Гораздо меньшие суммарные запасы углерода (≤ 150 –175 т/га) свойственны восточноевропейским средне- и южнотаежным кустарничково-зеленомошным ельникам, а также подтаежным неморальнотравяным широколиственно-еловым лесам в обширной полосе Низменного Заволжья. Здесь прообразами коренных формаций служили относительно молодые биогеоценозы, находящиеся на средних и даже ранних сукцессионных стадиях.

Общая картина регуляции углеродного цикла. Рассмотрим прогнозные оценки абсорбционной способности современного лесного покрова Волжского бассейна при климатических сценариях, соответствующих положениям Парижского Соглашения (см. выше). Согласно прогнозно-климатической модели E GISS, при потеплении удельный углеродный баланс групп лесных формаций (ГЛФ) бассейна будет иметь значительный размах колебаний – в пределах $\pm (5-10) \div (45-58)$ т/га, что составит от 0.5–1.0 до 25–38 % базового содержания углерода в лесных экосистемах (рис. 3). При холодно-гумидном климатическом тренде (прогноз на 2050 г.) лесные массивы в подавляющем большинстве будут увеличивать свою продуктивность и соответственно – суммарные запасы углерода, что и приведет к дополнительному массовому стоку углерода из атмосферы (от 12.0–17.0 до 31.0–34.0 т/га) и соответственно к усилению похолодания (рис. 4). Наибольший вклад в этот процесс внесут широколиственные леса по всей лесостепной зоне, а также кустарничково-травяные и сфагновые подтаежные сосняки и в меньшей степени заболоченные леса.

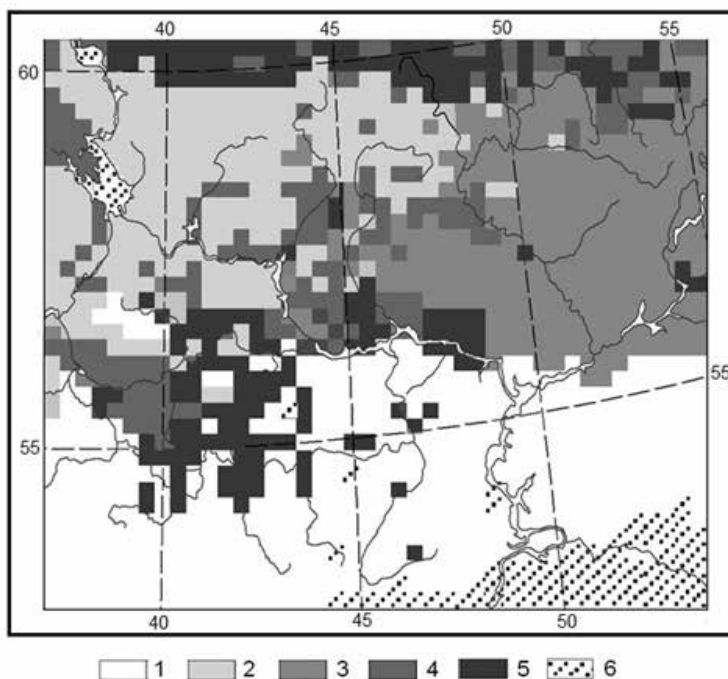


Рис. 3. Распределение удельного баланса углерода в восстановленных коренных лесных формациях Волжского бассейна для сценариев регионального потепления по модели E GISS на 2200 г. Растровые карты рассчитаны и составлены Л.С. Шарой. Баланс углерода (т/га): 1 – $(-15.0) \div (-7.5)$; 2 – $(-7.4) \div 0$; 3 – $0.1 \div 15.0$; 4 – $15.1 \div 25.0$; 5 – $25.1 \div 43.0$; 6 – озера, водохранилища и территории с отсутствием лесов

Fig. 3. Distribution of the specific carbon balance in restored primary forest formations of the Volga Basin for regional warming scenarios according to the E GISS model for 2200. Raster maps calculated and compiled by L.S. Shara. Carbon balance (t/ha): 1 – $(-15.0) \div (-7.5)$; 2 – $(-7.4) \div 0$; 3 – $0.1 \div 15.0$; 4 – $15.1 \div 25.0$; 5 – $25.1 \div 43.0$; 6 – lakes, reservoirs, and forest-free areas

Термоаридный тренд (на 2200 г.) также вызовет преобладающее увеличение продуктивности лесов и сток углерода в них (до 35.0–43 т/га, т.е. более чем на 20–25 % его базовых запасов). Последнее будет препятствовать повышению температуры и, таким образом, окажет позитивное воздействие на биотическую регуляцию углеродного цикла. Этот процесс особенно широко распространится среди южнотаежных и подтаежных сосновых и хвойно-лиственных формаций. В типичной же и южной лесостепи термоаридный кли-

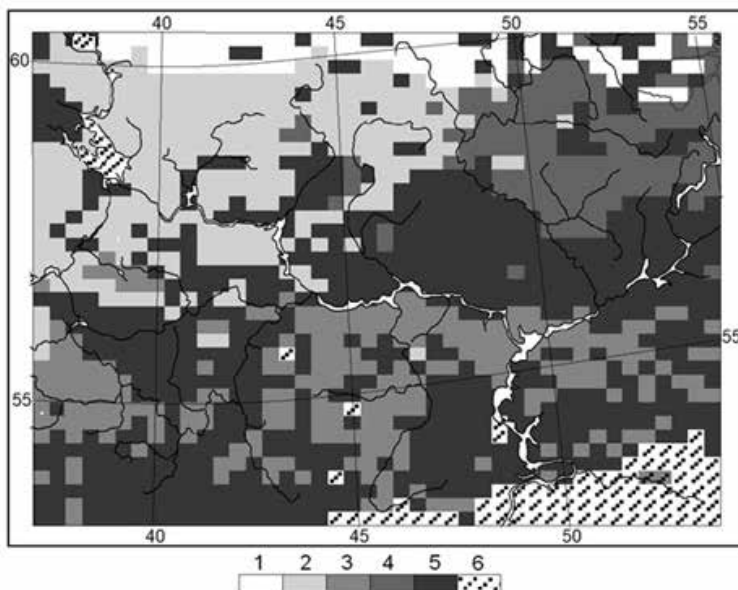


Рис. 4. Распределение удельного баланса углерода в восстановленных коренных лесных формациях Волжского бассейна для сценариев регионального похолодания по модели E GISS на 2050 г. Растровые карты рассчитаны и составлены Л.С. Шарой.

Баланс углерода (т/га): 1 – $(-17.0) \div (-10.0)$; 2 – $(-9.9) \div 0$; 3 – $0.1 \div 4.0$; 4 – $4.1 \div 10.0$; 5 – $10.1 \div 19.0$; 6 – озера, водохранилища и участки без лесной растительности

Fig. 4. Distribution of the specific carbon balance in restored primary forest formations of the Volga Basin for regional cooling scenarios according to the E GISS model for 2050. Raster maps were calculated and compiled by L.S. Shara. Carbon balance (t/ha): 1 – $(-17.0) \div (-10.0)$; 2 – $(-9.9) \div 0$; 3 – $0.1 \div 4.0$; 4 – $4.1 \div 10.0$; 5 – $10.1 \div 19.0$; 6 – lakes, reservoirs, and areas without forest vegetation

матический сигнал вызовет, наоборот, снижение продуктивности широколиственных и сосново-мелколиственных лесов (чаще всего островных и байрачных) и соответственно даст дополнительную эмиссию CO_2 в атмосферу (от 5–15 до 30 т/га и более, что составит от 3–5 до 35–30 % базовых запасов углерода).

Таким образом, регуляция углеродного цикла со стороны бореальных и неморальных лесов Русской равнины должна быть достаточно пестрой как по знаку, так и по абсолютной величине. Эта пестрота между ГЛФ будет проявляться в пределах каждого типа (подтипа) растительности, поэтому итоговый эффект регуляции углеродного цикла для всей рассматриваемой территории Волжского бассейна будет существенно зависеть от соотношения площадей ГЛФ. Так, сосновые средне- и южнотаежные леса, обладающие значительными положительными значениями $\Delta C(Fa)$ по обоим климатическим сценариям, имеют не очень большие площади, поэтому их итоговый вклад в региональный сток углерода окажется достаточно скромным. Незначительной будет негативная регуляция углеродного цикла и со стороны наиболее распространенных (занимающих более 30 % площади региона) темнохвойных южнотаежных и смешанных лесов – по причине низких отрицательных значений $\Delta C(Fa)$. И наоборот, менее распространенные широколиственно-сосновые подтаежные леса станут объектами наиболее мощного стока CO_2 при термоаридном климатическом тренде, что и предопределит их доминирующую позитивную роль в региональной биотической регуляции углеродного цикла. Восточноевропейские же широколиственные леса проявят незначительную отрицательную регуляцию. В то же время они, несмотря на их малые площади, смогут вызвать наибольшее усиление холодно-гумидного тренда благодаря значительному росту продуктивности и соответствующего стока углерода.











Экологические ресурсы восстановленных коренных лесов. Обратимся к гипотетической (виртуальной) карте зонально-провинциальных групп коренных лесных формаций (см. рис. 1, табл. 1). Карта создана на основе геоботанической карты [26]. На ней современные ареалы коренных лесов объединены с площадями находящихся на их месте вторичных формаций, а также сельскохозяйственных земель. Карта демонстрирует исходное размещение классов и групп коренных лесных формаций в доиндустриальный период отсутствия интенсивного земле- и лесопользования в регионе. Она отображает его *зонально-провинциальную фитоклиматическую структуру*. Базовое удельное и суммарное содержание углерода и соответствующие углеродные балансы этих гипотетических лесов в меняющемся климате представлены в табл. 3 и 4. По существу *таблицы раскрывают регуляцию углеродного цикла зонально-региональной биоклиматической системы Волжского бассейна* для двух мягко выраженных (по модели E GISS) сценариев прогнозируемых изменений климата – похолодания и потепления.

В целом коренные бореальные и суббореальные леса бассейна оказывают два взаимно противоположных воздействия на углеродный обмен земной поверхности с атмосферой: 1) сравнительно слабое негативное – при холодно-гумидном тренде (дополнительный

Таблица 3

Удельные углеродные балансы восстановленных коренных (А) и реальных (Б, коренных + производных) лесных формаций Волжского бассейна на прогнозные сроки 2050 г. (похолодание) и 2150 г. (потепление), согласно модели E GISS

Table 3. Specific carbon balances of restored native (A) and real (B, native + derivative) forest formations of the Volga River basin for the forecast periods of 2050 (cooling) and 2150 (warming), according to the E GISS model

Группы формаций (см. табл. 1)	Удельное базовое содержание углерода, т/га		Удельный углеродный баланс, т/га			
	А	Б	2050 г.		2150 г.	
			А	Б	А	Б
1 	110.74	80.33	-16.06 [+]	-11.64 [+]	+42.45 [+]	+30.78 [+]
2 	184.05	133.50	-9.93 [+]	-1.94 [+]	-4.14 [-]	-6.48 [-]
3 	203.80	233.58	+3.91 [-]	+0.68 [-]	+14.82 [+]	+16.45 [+]
4 	175.24	156.25	-9.45 [+]	-2.27 [+]	-3.94 [-]	-7.58 [-]
5, 6 	189.55	169.27	+3.64 [-]	+0.49 [-]	+13.78 [+]	+11.92 [+]
7 	154.50	179.87	+12.47 [-]	+10.89 [-]	+21.14 [+]	+10.21 [+]
8, 9 	174.46	180.26	+18.57 [-]	+8.94 [-]	+27.33 [+]	+16.39 [+]
11 	205.40	182.65	+1.37 [-]	+5.83 [-]	-7.76 [-]	-5.82 [-]
10, 12 	178.81	167.44	+14.96 [-]	+13.50 [-]	-14.46 [-]	-12.73 [-]
13 	15.12		+14.96 [-]		-14.46 [-]	
Заболоченные леса	140.71		+16.84 [-]		+14.27 [+]	
Лесные болота	137.56		+10.39 [-]		+28.12 [+]	
Неморальные поймы	158.65		+0.15 [-]		+7,91 [+]	
Среднее	156.040	148.87	+4.76 [-]	5.14 [-]	+9.62 [+]	+6.85 [+]

Примечание. Лесопокрытая площадь для групп формаций 10 и 12 принята равной 26 %, а для 13-й группы формаций – 11 %. Знаком [+] отмечена позитивная регуляция углеродного цикла при данном климатическом тренде, а знаком [-] – регуляция негативная.

Таблица 4. Суммарные углеродные балансы восстановленных коренных (А) и реальных (Б, коренных + производных) лесных формаций Волжского бассейна на прогнозные сроки 2050 г. (похолодание) и 2020 г. (потепление), согласно модели E GISS

Table 4. Total carbon balances of restored native (A) and real (B, native + derivative) forest formations of the Volga River basin for the forecast periods of 2050 (cooling) and 2020 (warming), according to the E GISS model

Группы формаций (см. табл. 1)	Выборочная площадь, км ²	Суммарный углеродный баланс, млн т			
		2050 г.		2020 г.	
		А	Б	А	Б
1	19580	-31.880	-23.110	+63.280	+47.870
2	55603	-55.214	-10.787	-23.196	-36.031
3	10301	+4.028	+0.700	+15.266	+16.945
4	6700	-43.470	-10.442	-18.124	-34.868
5, 6	3030	+1.103	+0.185	+4.175	+3.612
7	48506	+60.487	+53.823	+102.542	+49.525
8, 9	35413	+65.752	+31.559	+96.784	+58.042
11	14295	+1.958	+8.334	-11.093	-8.320
10, 12	39344	+58.859	+53.114	-56.891	-50.085
13	936	+1.400		+2.353	
Заболоченные леса	5026	+14.270		+8.464	
Лесные болота	2062	+2.124		+5.798	
Неморальные поймы	14915	+0.223		+11.798	
Сумма	255 981	+73.865	+114.619	+198.958	+70.905

депозит CO₂ и соответствующее усиление похолодания); 2) гораздо более мощное позитивное (см. рис. 3) – при тренде термоаридном. Во втором случае ожидается трехкратно возрастающее значение ΔC(Fa), которое снижает концентрацию парниковых газов в атмосфере и тем самым ослабляет антропогенное потепление. В первом случае общая абсорбция CO₂ из атмосферы составляет около 1 % суммарного базового содержания углерода в бореальных и суббореальных лесах, а во втором – 3.5 %.

Рассмотрим более подробно экологические ресурсы гипотетического лесного покрова Волжского бассейна (см. табл. 3 и 4, рис. 3) для сценария регионального умеренного потепления. Наиболее мощное сокращение парниковых газов в атмосфере и, следовательно, максимальное ослабление термоаридного тренда ожидается со стороны двух групп коренных лесных формаций – среднетаежных пихто-ельников и средне- и южнотаежных сосняков: в каждой из них суммарный углеродный баланс [ΣΔC(Fa)] приближается к +190 млн т. Высоким абсорбционным потенциалом обладают также подтаежные елово- и сосново-широколиственные леса в западном секторе бассейна, где [ΣΔC(Fa)] ≈ +140 ÷ +170 млн т). В восточном же секторе (камско-печерско-западноуральском) величина суммарного углеродного баланса снижается почти в четыре раза.

Разительным контрастом по отношению к упомянутым лесным формациям выступают восточноевропейские широколиственные леса, которые становятся дополнительным источником выбросов CO₂ в атмосферу: здесь [ΣΔC(Fa)] > -100 млн т. В два с лишним раза возрастает отрицательный баланс в маргинальных типично-лесостепных сосновых и ши-

роколиственно-сосновых лесах. Последние, таким образом, оказываются не только наиболее неустойчивыми к глобальному потеплению (см. [18]), но и как фитоценологические системы с положительной обратной связью сами будут способствовать своей деградации, усиливая данный климатический тренд.

Для сценария холодно-гумидного тренда (см. рис. 4) имеют место аналогичные соотношения абсолютных значений $[\sum \Delta C(Fa)]$ между группами коренных лесных формаций, однако знак их углеродного баланса меняется на противоположный: преимущественно положительный углеродный баланс коренных лесов способствует дополнительному похолоданию.

В целом группы коренных лесов Волжского бассейна, при заполнении каждой из них своего зонально-регионального экологического пространства, оказывают положительное регулирующее влияние на углеродный обмен земной поверхности с атмосферой при потеплении и отрицательное влияние – при похолодании, причем в первом случае в три раза более мощное, нежели во втором (см. табл. 3. нижняя строка). Обладая достаточно высокими экологическими ресурсами, коренные бореальные леса Восточно-Европейского субконтинента могут служить эффективным поглотителем парниковых газов из атмосферы, снижая тем самым грядущее глобальное потепление.

Антропогенные изменения экологических ресурсов современного лесного покрова.

Встает немаловажный вопрос: как повлияли произошедшие к настоящему времени антропогенные изменения бореального и суббореального лесного покрова Волжского бассейна на его экологические ресурсы. Каковыми оказались эти изменения по знаку и по величине удельных и суммарных значений углеродного баланса? Для ответа на этот вопрос по каждой из 13 групп лесных формаций Волжского бассейна (см. табл. 1) нами были проведены расчеты базовых и прогнозируемых углеродных параметров как для восстановленных коренных лесов, так и для реального лесного покрова, включающего коренные и производные сообщества (см. табл. 3 и 4). Анализируемая территория находилась в границах 52–60° с. ш. и 36–53° в. д., т.е. она занимала около половины площади, представленной на рис. 3 и 4.

В целом сравнительная картина углеродных балансов сохраняется той же, что была обрисована для гипотетического лесного покрова бассейна. При термоаридном сценарии максимальные удельные экологические ресурсы остаются за средне- и южнотаежными и подтаежными сосняками, а также среднетаежными пихто-ельниками, а минимальные – за северостепными широколиственными лесами. Суммарные ресурсы определяются так же площадями лесных формаций, поэтому общее регулирующее влияние на углеродный цикл, например, мало распространенных камско-западнопредуральских хвойно-широколиственных лесов, а также дубо-липняков северной лесостепи оказывается незначительным. Удельные углеродные балансы по отдельным группам лесных формаций составляют от 1–5 до 11–16 % удельного базового содержания в них углерода. Исключение составляют подтаежные широколиственно-сосновые леса и особенно лесные болота, которые при потеплении поглощают дополнительно до 17 т/га и более 28 т/га углерода соответственно (см. табл. 4.).

Сопоставление удельных и суммарных углеродных балансов по восстановленным коренным лесам и реальному лесному покрову (коренные + производные леса) показывает, что замещение коренных лесов производными приводит к общему и достаточно ощутимому снижению экологических ресурсов лесного покрова Волжского бассейна. Это проявляется в снижении общей положительной регуляции углеродного цикла при потеплении и в повышении его отрицательной регуляции – при похолодании (см. табл. 4, нижняя строка). Особенно негативно сказывается распространение березняков и осинников в средне-южнотаежных и подтаежных сосновых лесах, которые, как уже говорилось, имеют лидирующий вклад в дополнительное поглощение CO_2 (при потеплении более 70 % от общего объема поглощения). Их средние значения $\Delta C(Fa)$ при потеплении сокращаются почти в два раза – с 16.16 до 8.87 т/га. На 27 % уменьшается также экологический ресурс средне-

таежных пихто-ельников, а у южнотаежных восточноевропейских и камско-западнопредуральских темнохвойных лесов отрицательный углеродный баланс увеличивается на 40–50 %. В темнохвойных южнотаежных и подтаежных сообществах, а также в широколиственных и остепненных сосново-широколиственных лесах вторичные мелколиственные формации оказывают гораздо меньшее влияние.

Широкое распространение в лесном поясе Волжского бассейна восстановительных сукцессий, с господством длительно-производных мелколиственных сообществ, снижает для термоаридного прогнозного сценария в 2.8 раза суммарную дополнительную поглотительную способность лесов по сравнению с гипотетически восстановленными коренными лесами. При холодно-гумидном же тренде эта способность, наоборот, увеличивается в два раза. В первом случае происходит резкое ослабление положительной регуляции углеродного цикла, а во втором – несколько меньшее, но также существенное, усиление регуляции отрицательной. В обоих случаях налицо сокращение абсорбционной способности современных лесных формаций, где наряду с коренными сообществами существуют гораздо более длительно распространенные производные образования. Таков, по-видимому, общий результат антропогенного снижения экологических ресурсов лесного покрова Волжского бассейна со времен начала в нем интенсивного земле- и лесопользования.

Заключение

1. По удельным и суммарным углеродным балансам лесных формаций Волжского бассейна дана количественная оценка их экологических ресурсов по смягчению климатических колебаний с помощью механизмов регуляции лесами углеродного цикла. Полученные обобщенные материалы могут быть использованы для количественных оценок влияния бореальных и неморальных лесов Восточной Европы и Предуралья на потоки парниковых газов в системе земная поверхность – атмосфера.

2. Прогнозируется, что при одном и том же климатическом сигнале различные лесные формации будут как поглощать дополнительно парниковые газы (положительный углеродный баланс лесных сообществ), так и выбрасывать их в атмосферу (отрицательный баланс), оказывая соответствующее влияние на общий климатический тренд. В каждом экорегионе выявляются определенные зонально-региональные типы регуляции лесным покровом содержания CO₂ в атмосфере при развитии климатической аридизации либо гумидизации. В соответствии с площадным распределением этих типов оценен общий региональный вклад лесной фитобиоты в смягчение климатических колебаний.

3. Установлены наиболее вероятные значения потерь лесами Волжского бассейна их экологических ресурсов со времен начала здесь интенсивного земле- и лесопользования. Распространение на большей части прежних коренных лесов современных вторичных лесных сообществ (не считая сельхозугодий) должно привести к весьма значительной утрате абсорбционного потенциала всего бореально-неморального лесного покрова. Это проявится в снижении общей положительной биотической регуляции углеродного цикла при потеплении и в повышении его отрицательной регуляции при похолодании. При современных темпах потепления в ближайшие 150–200 лет средние значения положительных углеродных балансов лесов могут сократиться в два–три раза.

Литература

1. Исаев А.С., Коровин Г.Н. Углерод в лесах Северной Евразии // Круговорот углерода на территории России. М.: Мин-во науки и технологий РФ, 1999. С. 63–95.
2. Кондратьев К.Я., Демирчян К.С. Глобальные изменения климата и круговорот углерода // Изв. Русского геогр. об-ва. 2000. Вып. 4. С. 1–20.

3. Швиденко А.З., Нильссон С., Столбовой В.С. и др. Опыт агрегированной оценки основных показателей биопродукционного процесса и углеродного бюджета наземных экосистем России. 2. Нетто-первичная продукция экосистем // *Экология*. 2001. № 2. С. 83–90.
4. Schimel D.S., House J.L., Hibbard K.A. et al. Resent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems // *Nature*. 2001. Vol. 414, N 8. P. 169–178.
5. Gamon J.A., Huemmrich K.E., Peddle D.R., et al. Remote sensing BOREAS: Lessons learned // *Remote Sensing of Environment*. 2004. Vol. 89. P. 139–162.
6. Stinson G., Kurz W.A., Smyth C.E. et al. An inventory-based of Canada's managed forest carbon dynamics, 1900 to 2008 // *Global Change Biology*. 2011. Vol. 17. P. 2227–2244.
7. Schepaschenko D., McCallum I., Shvidenko A., Fritz S., Kraxner F., Obersteiner M.A. New hybrid land cover dataset for Russia: a methodology for integrating statistics, remote sensing and in situ information // *Journal of Land Use Science*. 2011. Vol. 6, N 4. P. 245–259.
8. Щепаченко Д.Г., Мухортова Л.В., Швиденко А.З., Ведрова Э.Ф. Запасы органического углерода в почвах России // *Почвоведение*. 2013. № 2. С. 123–132.
9. Quegan S., Beer C., Shvidenko A., McCallum I., et al. Estimating the carbon balance of central Siberia using a landscape-ecosystem approach, atmospheric inversion and Dynamic Global Vegetation Models // *Global Change Biology*. 2011. Vol. 17. P. 351–365.
10. Nilsson S., Shvidenko A., Stolbovoi V., Gluck F., Mattias J., Obersteiner M. Full carbon account for Russia. IIASA Interim Report, IR-00-021. Laxenburg, Austria: IIASA, 2000.
11. Gauthier S., Bernier P., Kuuluvainen T., Shvidenko A.Z., Schepachenko D.G. Boreal forest health and global change // *Science*. August 2015. Vol. 349, is. 6259. P. 819–821.
12. Швиденко Ф.З., Щепаченко Д.Г., Кракнер Ф., Онуцин А.А. Переход к устойчивому управлению лесами России: теоретико-методические предпосылки // *Сибирский лесной журнал*. 2017. № 6. С. 3–25.
13. Розенберг Г.С. Модели в фитоценологии. М.: Наука, 1984.
14. Paris Agreement. Conference of the Parties Twenty-first session. Paris, 30 Nov. to 11. Dec., 2015. 19 p.
15. Сукачев В.Н. Избранные труды. Т. 1. Основы лесной типологии и биогеоценологии. Л.: Наука, 1972. 418 с.
16. Лосев К.С. Экологические проблемы и перспективы устойчивого развития России в XXI веке. М.: Космосинформ, 2001. 399 с.
17. Schmidt G.A., Ruedy R., Hansen J.E. et al. Present day atmospheric simulations using GISS Model E: Comparison to in-situ, satellite and reanalysis data // *J. Climate*. 2006. Vol. 19. P. 153–192.
18. Hansen J., Sato M., Ruedy R. et al. Climate simulations for 1880–2003 with GISS model E // *Climate Dynamics*. 2007. Vol. 29. P. 661–696.
19. Gorshkov V.G. Physical and biological basis of life stability. Man, Biota, Environment. New York: Springer Verlag, 1994. 470 p.
20. Горшков В.В., Горшков В.Г., Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С., Макарьева А.М. Биотическая регуляция окружающей среды // *Экология*. 1999. № 2. С. 105–113.
21. Кондратьев К.Я., Лосев К.С., Ананичева М.Д., Чеснокова И.В. Естественно-научные основы устойчивости жизни. М.: ВИНТИ. Институт географии РАН, 2003. 239 с.
22. Тимофеев-Ресовский Н.В. Структурные уровни биологических систем // *Системные исследования*. Ежегодник. 1970. М.: Наука, 1970. С. 80–113.
23. Коломыйц Э.Г. Мониторинг устойчивого развития лесных экосистем в меняющемся климате. М.: ИНФРА-М, 2024. 547 с.
24. Houghton J.T., Meira Filho L.G., Callander B.A. et al., eds. *Climate Change 1995. The Science of Climatic Change*. Cambridge, UK: The Cambridge Univ. Press, 1996.
25. Грибова С.А., Исаченко Т.И., Лавренко Е.М., ред. *Растительность Европейской части СССР*. Л.: Наука, 1980. 429 с.
26. Котова Т.В., ред. *Растительность Европейской части СССР и Кавказа*. М-6 1 : 2 000 000. М.: ГУГК, 1987. 4 л.
27. Исаев А.С., ред. *Разнообразие и динамика лесных экосистем России*. Кн. 1. М.: КМК, 2012. 460 с.
28. Бартаев С.А., Ершов Д.В., Исаев А.С., Лупян Е.А., Уваров И.А. Карта растительного покрова России. М.: ИКИ РАН и ЦЭПЛИ РАН, 2010.
29. Сочава В.Б. Растительный покров на тематических картах. Новосибирск: Наука, 1979. 189 с.
30. Морозов Г.Ф. Учение о лесе. Изд. 3-е. Л.: Гос. изд-во, 1926. 368 с.
31. Ashby W.R. *An Introduction to Cybernetics*. London: Oxford University Press, 1956. 432 с.
32. Montgomery D.C., Peck E.A. *Introduction to linear regression analysis*. New York: Wiley, 1982. 504 p.

References

1. Isaev, A.S.; Korovin, G.N. Carbon in the Forests of Northern Eurasia. In *Carbon Cycle in Russia*. Ministry of Science and Technology of the Russian Federation: Moscow, Russia. 1999, 63–95. (In Russian)
2. Kondratyev, K.Ya.; Demirchyan, K.S. Global Climate Changes and Carbon Cycle. *Izvestiya of the Russian Geographical Society*. 2000, Issue 4, 1–20. (In Russian)

3. Shvidenko, A.Z.; Nilsson, S.; Stolbovoy, V.S., et al. Experience of Aggregated Assessment of Main Indicators of Bioproduction Process and Carbon Budget of Terrestrial Ecosystems in Russia. 2. Net Primary Production of Ecosystems. *Ecology*. 2001, 2, 83–90. (In Russian)
4. Schimal, D.S.; House, J.L.; Hibbard, K.A., et al. Resent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems. *Nature*. 2001, Vol. 414, 8, 169–178.
5. Gamon, J.A.; Huemmrich, K.E.; Peddle, D.R., et al. Remote sensing BOREAS: Lessons learned. *Remote Sensing of Environment*. 2004, Vol. 89, 139–162.
6. Stinson, G.; Kurz, W.A.; Smyth, C.E., et al. An inventory-based of Canada's managed forest carbon dynamics, 1900 to 2008. *Global Change Biology*. 2011, Vol. 17, 2227–2244.
7. Schepaschenko, D.; McCallum, I.; Shvidenko, A.; Fritz, S.; Kraxner, F.; Obersteiner, M.A. New hybrid land cover dataset for Russia: a methodology for integrating statistics, remote sensing and in situ information. *Journal of Land Use Science*. 2011, Vol. 6, 4, 245–259.
8. Shechepashchenko, D.G.; Mukhortova, L.V.; Shvidenko, A.Z.; Vedrova, E.F. Organic carbon reserves in Russian soils. *Soil Science*. 2013, 2, 123–132. (In Russian)
9. Quegan, S.; Beer, C.; Shvidenko, A.; McCallum, I., et al. Estimating the carbon balance of central Siberia using a landscape-ecosystem approach, atmospheric inversion and Dynamic Global Vegetation Models. *Global Change Biology*. 2011, Vol. 17, 351–365.
10. Nilsson, S.; Shvidenko, A.; Stolbovoi, V.; Gluck, F.; Mattias, J.; Obersteiner, M. Full carbon account for Russia. IIASA Interim Report, IR-00-021. Laxenburg, Austria: IIASA, 2000.
11. Gauthier, S.; Bernier, P.; Kuuluvainen, T.; Shvidenko, A.Z.; Schepachenko, D.G. Bo-real forest health and global change. *Science*. 2015, Vol. 349, Issue 6259, 819–821.
12. Shvidenko, F.Z.; Shechepachenko, D.G.; Kraxner, F.; Onuchin, A.A. Transition to sustainable forest management in Russia: theoretical and methodological prerequisite. *Siberian Forest Journal*. 2017, 6, 3–25. (In Russian)
13. Rosenberg, G.S. Models in phytocenology. Nauka: Moscow, USSR. 1984; 265 p. (In Russian)
14. Paris Agreement. Conference of the Parties Twenty-first session. Paris, 30 Nov. to 11. Dec., 2015. 19 p.
15. Sukachev, V.N. Selected works. Fundamentals of forest typology and biogeocenology. Nauka: Leningrad, USSR. Vol. 1. 1972; 418 p. (In Russian)
16. Losev, K.S. Environmental problems and prospects for sustainable development of Russia in the 21st century. Kosmosinform Publishing House: Moscow, Russia. 2001; 399 p. (In Russian)
17. Schmidt, G.A.; Ruedy R.; Hansen J.E., et al. Present day atmospheric simulations using GISS Model E: Comparison to in-situ, satellite and reanalysis data. *J. Climate*. 2006, Vol. 19, 153–192.
18. Hansen, J.; Sato, M.; Ruedy, R., et al. Climate simulations for 1880–2003 with GISS model E. *Climate Dynamics*. 2007, Vol. 29, 661–696.
19. Gorshkov, V.G. Physical and biological basis of life stability. Man, Biota, Environment. Springer Verlag: New York, USA. 1994; 470 p.
20. Gorshkov, V.V.; Gorshkov, V.G.; Danilov-Danilyan, V.I.; Losev, K.S.; Makarieva, A.M. Biotic regulation of the environment. *Ecology*. 1999, 2, 105–113. (In Russian)
21. Kondratyev, K.Ya.; Losev, K.S.; Ananicheva, M.D.; Chesnokova, I.V. Natural-scientific foundations of life sustainability. Institute of Geography RAS: VINITI. Moscow, Russia. 2003; 239 p. (In Russian)
22. Timofeev-Resovsky, N.V. Structural levels of biological systems. In *System studies. Yearbook*. Nauka: Moscow, Russia. 1970, 80–113. (In Russian)
23. Kolomyts, E.G. Monitoring of sustainable development of forest ecosystems in a changing climate. INFRA-M: Moscow, Russia. 2024; 547 c. (In Russian)
24. Houghton, J.T.; Meira Filho, L.G.; Callander B.A., et al., eds. Climate Change 1995. The Science of Climatic Change / Cambridge, UK: The Cambridge Univ. Press, 1996.
25. Gribova, S.A.; Isachenko, T.I.; Lavrenko, E.M., eds. Vegetation of the European part of the USSR. Nauka: Leningrad, USSR. 1980; 429 p. (In Russian)
26. Kotova, T.V., ed. Vegetation of the European part of the USSR and the Caucasus. M-b 1:2 000 000. GUGK: Moscow, USSR. 1987; 4 p. (In Russian)
27. Isaev, A.S., ed. Diversity and dynamics of forest ecosystems in Russia. Book 1. KMK: Moscow, Russia. 2012; 460 p. (In Russian)
28. Bartalev, S.A.; Ershov, D.V.; Isaev, A.S.; Lupyan, E.A.; Uvarov, I.A. Map of the vegetation cover of Russia. IKI RAS and CEPL RAS: Moscow, Russia. 2010. (In Russian)
29. Sochava, V.B. Vegetation cover on thematic maps. Nauka: Novosibirsk, Russia. 1979; 189 p. (In Russian)
30. Morozov, G.F. Teaching about the forest. Ed. third. State Publishing House: Leningrad, USSR. 1926; 368 p. (In Russian)
31. Ashby, W. R. An Introduction to Cybernetics. Oxford University Press: London. 1956; 432 p.
32. Montgomery, D.C.; Peck, E.A. Introduction to linear regression analysis. Wiley: New York, USA. 1982; 504 p.

Статья поступила в редакцию 22.08.2025; одобрена после рецензирования 25.09.2025; принята к публикации 14.11.2025.

The article was submitted 22.08.2025; approved after reviewing 25.09.2025; accepted for publication 14.11.2025.

Проявления грязевого вулканизма на о. Сахалин: генезис и газогеохимические характеристики

Ренат Белалович ШАКИРОВ

доктор геолого-минералогических наук, доцент, заведующий лабораторией
ren@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0003-1202-0351

Наталья Леонидовна СОКОЛОВА

кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник
natap81@mail.ru, ORCID 0000-0002-2248-6924

Анна Леонидовна ВЕНИКОВА

научный сотрудник
anett29@mail.ru, ORCID 0000-0002-1445-8579

Никита Сергеевич ПОЛОНИК

кандидат химических наук, старший научный сотрудник
nikpol@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0002-4726-9459

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Россия

Аннотация. Грязевые вулканы способны в значительной степени влиять на состояние окружающей природной среды, формируя специфические ландшафты, поставляя в атмосферу значительные объемы парниковых газов, выступая тем самым как мощный природный фактор преобразования среды и ее параметров. Это уникальные природные системы флюидо-динамического характера, в которых интенсивно происходят процессы переноса вещества и энергии и миграция огромного количества твердых, жидких и газообразных продуктов из недр на поверхность Земли. Грязь, выносимая вулканами, имеет смешанный минеральный состав. Газы, которые играют основную роль в проявлении грязевулканической деятельности, состоят из различных углеводородов, главным образом метана, а также углекислого газа, азота и в небольших количествах сероводорода. В работе показаны основные газогеохимические и геолого-тектонические особенности возникновения и распространения восходящих потоков газонасыщенных флюидов в районах проявления грязевулканической деятельности на о. Сахалин. Исследована природа их происхождения и взаимосвязь с залежами нефти и газа в регионе. Рассмотрено соотношение газовых и геохимических характеристик грязевого вулканизма о. Сахалин. Весь комплекс проведенных исследований по грязевому вулканизму о. Сахалин показывает, что газогеохимические поля природных газов различного генезиса тесно связаны с формированием геохимического ландшафта вмещающих горных пород и осадочных отложений. Наличие на о. Сахалин мощных осадочных толщ с нефтяными и газовыми залежами, современная сейсмотектоническая активность, сложные системы разрывных нарушений представляют этот район как уникальное место для изучения этих особенностей.

Ключевые слова: грязевые вулканы, метан, углекислый газ, сейсмотектоническая активность, о. Сахалин.

Для цитирования: Шакиров Р.Б., Соколова Н.Л., Веникова А.Л., Полоник Н.С. Проявления грязевого вулканизма на о. Сахалин: генезис и газогеохимические характеристики // Тихоокеанская география. 2026. № 1. С. 55–67. https://doi.org/10.35735/26870509_2026_25_4.

Original article

Mud volcanism on Sakhalin Island: genesis and gas-geochemical characteristics

Renat B. SHAKIROV

Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, Head of the laboratory
ren@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0003-1202-0351

Natalia L. SOKOLOVA

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior research associate
natap81@mail.ru, ORCID 0000-0002-2248-6924

Anna L. VENIKOVA

Research associate
anett29@mail.ru, ORCID 0000-0002-1445-8579

Nikita S. POLONIK

Candidate of Chemical Sciences, Senior research associate
nikpol@poi.dvo.ru ORCID 0000-0002-4726-9459

V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FRB RAS, Vladivostok, Russia

Abstract. Mud volcanoes are able to influence significantly the state of the natural environment, forming specific landscapes, supplying significant amounts of greenhouse gases to the atmosphere, thereby acting as a powerful natural factor in the transformation of the environment and its parameters. These are unique natural systems of a fluid-dynamic nature, in which the processes of matter and energy transfer and migration of a huge amount of solid, liquid and gaseous products from the bowels to the surface of the Earth are intensively taking place. The mud carried out by volcanoes has a mixed mineral composition. Gases that play a major role in the manifestation of mud volcanic activity consist of various hydrocarbons, mainly methane, as well as carbon dioxide, nitrogen, and in small amounts, hydrogen sulfide. The paper shows the main gas-geochemical and geological-tectonic features of the occurrence and migration of updrafts of gas-saturated fluids in the areas of mud volcanic activity on Sakhalin Island. The nature of their origin and the relationship with oil and gas deposits in the region were investigated. The correlation of gas and geochemical characteristics of mud volcanism on Sakhalin Island was considered. The entire research complex conducted on the mud volcanism of Sakhalin Island shows that the gas-geochemical fields of natural gases of various genesis are closely related to the formation of the geochemical landscape of the host rocks and sedimentary deposits. The presence of thick sedimentary strata with oil and gas deposits on Sakhalin Island, modern seismotectonic activity, and complex systems of discontinuous faults present the area as a unique place for study these features. The Sakhalin Island and its surrounding territories are interesting from the point of their genesis and natural gas ecological significance of sedimentary basins, gas hydrate accumulations, geothermal and mud volcanic systems, gas-saturated groundwater and marine sediments. Gas release study on Sakhalin Island and the adjacent shelf are of a great importance within the framework of the Far Eastern Marine Carbon monitoring plots consortium.

Keywords: mud volcanoes, methane, carbon dioxide, seismotectonic activity, Sakhalin Island

For citation: Shakirov R.B., Sokolova N.L., Venikova A.L., Polonik N.S.. Mud volcanism on Sakhalin Island: genesis and gas-geochemical characteristics. Pacific Geography. 2026;(1):55-67. (In Russ.). https://doi.org/10.35735/26870509_2026_25_4.

Введение

В последние годы резко возрос интерес к изучению процессов дегазации земной коры в северных широтах, что вызвано актуальностью исследований баланса основных парниковых газов – диоксида углерода (CO_2) и метана (CH_4) в атмосфере [1] и формированием газоопасных зон в поверхностных грунтах [2]. За последние десятилетия рост концентрации этих газов в атмосфере составил: CO_2 – 0.4 %, CH_4 – 0.3–1.2 % в год [3]. Исследования баланса метана и углекислого газа должны учитывать их эмиссию из нефтегазовых и угольных месторождений, а также из активных систем газовой разгрузки (грязевые вулканы, геотермальные системы, водоминеральные источники и др.). Все эти виды углеводородных скоплений широко распространены на о. Сахалин и присахалинском шельфе.

Выходы природных газов на о. Сахалин и прилегающей акватории можно разделить на три вида: 1) локальные выходы газов (грязевые вулканы, газовые венты, газогидротермальные источники и др.); 2) площадная эмиссия газа над нефтегазоносными структурами через сеть разломов, контролируемых региональными линейными элементами; 3) площадная эмиссия газа в зоне размыва складчатых структур.

Грязевые вулканы широко распространены как на суше, так и в морских бассейнах, особенности их распределения рассмотрены в работах [4–8]. Они обнаружены на территории более 30 стран мира. В их распределении на Земле наблюдается такая же закономерность, как и для магматических вулканов: большая их часть приурочена к Альпийско-Гималайскому и Тихоокеанскому подвижным поясам.

Грязевые вулканы представляют собой уникальные природные системы флюидо-динамического характера, в которых интенсивно происходят процессы переноса вещества и энергии и миграция огромного количества твердых, жидких и газообразных продуктов из недр на поверхность Земли. Грязь, выносимая вулканами, имеет смешанный минеральный состав. Газы, которые играют основную роль в проявлении грязевулканической деятельности, состоят из различных углеводородов, главным образом метана, а также углекислого газа, азота и в небольших количествах сероводорода.

Изучению сахалинских грязевых вулканов уделено особое внимание, поскольку в Дальневосточном регионе это уникальное геологическое явление проявлено только на о. Сахалине, два ближайших находятся на о. Хоккайдо и объединяются в одну геотектоническую группу [9–12].

При изучении грязевого вулканизма одним из важнейших аспектов является вопрос о его связи с нефтегазоносностью. Считается, что грязевые вулканы – прямой признак наличия месторождения нефти и газа в регионе, поскольку оба природных объекта имеют сходный механизм образования [13].

Приуроченность грязевых вулканов к нефтегазоносным областям известна уже более ста лет. Геологи-нефтяники рассматривают грязевой вулканизм как один из важнейших критериев перспективности того или иного региона на нефть и газ [14]. Такая связь вполне закономерна. Преобразование органического вещества на глубине одновременно делает возможным существование скоплений углеводородов и порождает грязевые вулканы. Поэтому понимание процессов проявления грязевулканической деятельности важно в том числе при оценке углеводородного потенциала больших глубин перспективных территорий.

Наличие на о. Сахалин мощных осадочных толщ с нефтяными и газовыми залежами, сейсмотектоническая активность, сложные системы разломов делают этот уникальный регион привлекательным местом для изучения грязевулканической деятельности.

Цель исследования – изучение генезиса и газогеохимических характеристик проявления грязевого вулканизма на о. Сахалин.

Материалы и методы

Методики газогеохимических исследований закреплены в Паспорте ПС 1.051-21 лаборатории газогеохимии ТОИ ДВО РАН, утвержденном Свидетельством Росстандарта № 58, в патентах и публикациях [15–17].

Основой методологии являются экспедиционно-аналитические исследования на о. Сахалин с теоретическим анализом полученных материалов сотрудниками лаборатории, а также результаты анализа и систематизации газогеохимических данных, полученных предшественниками в данном районе. При этом в выполнении исследований задействованы сотрудники и приборная база новой инновационной лаборатории комплексного исследования окружающей среды и минеральных ресурсов ТОИ ДВО РАН.

Целевыми объектами газогеохимических исследований были выбраны: грязевые вулканы – Южно-Сахалинский (ЮСГВ), Главный Пугачевский (ГПГВ), а также Дагинская геотермальная система (ДГС) о. Сахалин.

На содержание CH_4 и его гомологов, CO_2 авторским коллективом было проанализировано более 1000 проб свободного газа и газа, растворенного в воде.

Сотрудниками ТОИ ДВО РАН в 2001, 2005–2014, 2018–2021 гг. проводилось газогеохимическое обследование грязевых вулканов, геотермальных источников о. Сахалин, выполнялись работы на нефтегазоносных площадях. Производился отбор проб свободных газов из основных дегазирующих грифонов грязевых вулканов. Южно-Сахалинский грязевой вулкан, как наиболее активный объект, опробован более детально, в том числе выполнен мониторинг количественных и качественных газовых параметров в 2007 г. совместно с ИМГиГ ДВО РАН [18].

Отбор проб и анализ спонтанного газа из грязевых вулканов и геотермальных источников, а также отбор проб воды осуществлялись согласно методики [15–17].

Для хроматографического анализа газового состава углеводородных и неорганических газов использовался хроматограф «Кристалл-Люкс 4000М» (ООО «НПФ «Мета-хром», г. Йошкар-Ола), снабженный пламенно-ионизационным детектором и двумя детекторами по теплопроводности, газ-носитель — гелий. Для анализа гелия и водорода применялся хроматограф «Хроматэк-Газохром 2000» (ОАО «Хроматек», г. Йошкар-Ола) с датчиками теплопроводности повышенной чувствительности (1–2 ppm по гелию и водороду), газ-носитель — аргон.

Для калибровки газовых хроматографов применялись сертифицированные поверочные газовые смеси производства Германии и России с концентрациями метана 10, 100, 1000 ppm и 1 %. Использовались калибровочные смеси газов “SCOTTY II” производства “Altech Associates Inc.” и ООО «ЮГРА-ПГС».

Анализ стабильных изотопов углерода метана и углекислого газа выполнен на масс-спектрометре Finnigan MAT – 252 по системе CF-IRMS в Университете Нагойя, Япония [19]. Значения δ^{13} приведены относительно VPDB.

Исследование органического вещества грязевых вулканов заключалось в качественном и полуколичественном определении состава углеводородов (n-алканов, изопреноидов, ароматических углеводородов) методом пиролитической ГХМС. Перед проведением анализа образцы грязевулканической брекчии высушивались при 40 °С до постоянного веса на анализаторе влажности Shimadzu MOC-120 H (Япония) и измельчались с помощью мельницы IKA A11 basic (Германия) до порошкообразной консистенции. Анализ проб осуществлялся на приборе Shimadzu GCMS-QP2010 Ultra (Япония), оснащенный многофункциональным пиролизером / термодесорбером Multi-Shot Pyrolyser EGA/PY-3030 (Япония). Разделение компонентов осуществлялось на капиллярной колонке Ultra ALLOY-5 MS/HT, газ-носитель – гелий.

Результаты и их обсуждение

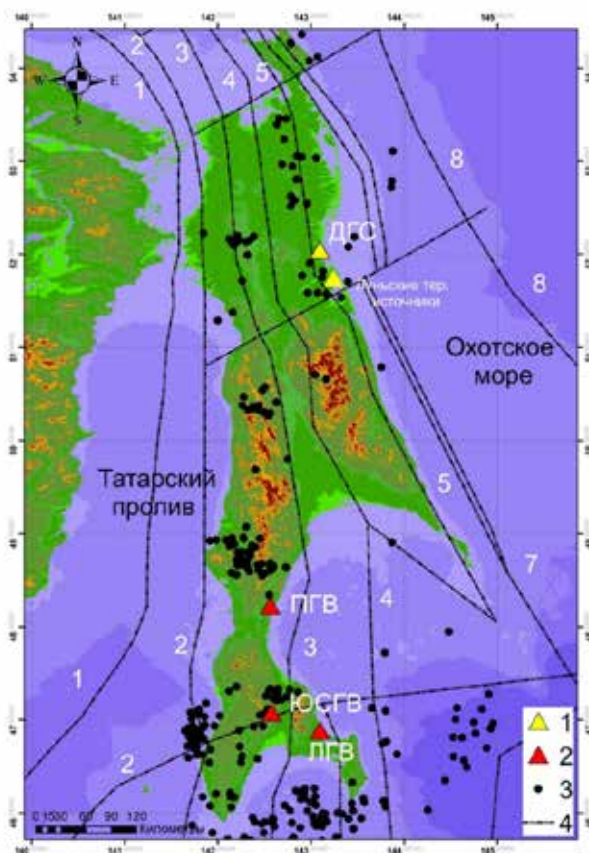
На о. Сахалин выявлены следующие участки проявления грязевого вулканизма (рис. 1): группа Пугачевских грязевых вулканов – в Макаровском, Южно-Сахалинский грязевой вулкан – в Анивском и Лесновский – в Корсаковском районе. Отдельно следует отметить Дагинскую газогидротермальную площадь в Ногликском районе, которая в ряде работ рассматривается как грязевулканическая. К грязевым проявлениям в Дальневосточном регионе иногда относят также водо-грязевые котлы на п-ове Камчатка и Курильских островах. Грязевые вулканы региона обнаружены только в Хоккайдо-Сахалинской складчатой системе (ХССС).

Остров Сахалин представляет собой яркий пример складчатых областей альпийского тектогенеза [22], в ходе которого сформировались все грязевулканические провинции (Альпийско-Гималайский складчатый пояс и Тихоокеанское кольцо альпийской складчатости). Складкообразование этой эпохи завершилось возникновением молодых горных сооружений, дефлюидизация которых выразилась в том числе в углеводородных скоплениях и грязевом вулканизме. На о. Сахалин распространены нефтегазовые месторождения, широко развиты угленосные толщи, грязевые вулканы, геотермальные системы и минеральные источники. ХССС контролируется системой глубинных разломов, секущих их в продольном направлении (см. рис. 1). По этим разломам осуществляется газо-флюидный перенос углеводородов и сопутствующих газов, интенсивность и химический состав газовых потоков контролируется сейсмотектонической активностью.

Крупный Хоккайдо-Сахалинский разлом контролирует размещение мезозойских магматических формаций на своем южном отрезке. В районе северного звена этого глубин-

Рис. 1. Карта-схема расположения объектов исследования относительно положения основных разломов. Региональные разломы: 1 — Восточно-Сихотэ-Алинский; 2 — Западно-Сахалинский; 3 — Центрально-Сахалинский; 4 — Хоккайдо-Сахалинский; 5 — Северо-Сахалинский; 7 — Пограничный; 8 — Восточно-Сахалинский [20]. Условные обозначения: 1 — термальные источники, 2 — грязевые вулканы, 3 — землетрясения $M > 4.3$ [21], 4 — разломы

Fig. 1. Map of the location of the research objects relative to the position of the main faults. Regional faults: 1 — East Sikhote-Alin, 2 — West Sakhalin, 3 — Central Sakhalin, 4 — Hokkaido-Sakhalin, 5 — North Sakhalin, 7 — Pogramichniy, 8 — East Sakhalin [20]. Symbols: 1 — thermal springs, 2 — mud volcanoes, 3 — $M > 4.3$ earthquakes [21], 4 — faults



ного сдвига расположены основные скопления углеводородов островной части региона. Западно-Сахалинский глубинный разлом представляет собой крупную проницаемую зону и контролирует основные угольные месторождения острова. В южной части острова Западно-Сахалинский разлом проходит в шельфовой части Татарского пролива, где с участием коллектива авторов были обнаружены многочисленные поля газовой эмиссии. Центральнo-Сахалинский разлом отличается активным флюидодинамическим режимом и представляет собой крупнейшую проницаемую зону. В ее северной части расположены кайнозойские магматические и другие формации. К зоне влияния Центральнo-Сахалинского разлома приурочены термальные и холодные водногазовые источники, грязевые вулканы, нефтегазопрооявления. В южной части разлома установлены меловые отложения. В зоне контакта меловых и кайнозойских отложений внедрялись интрузивные тела (дайки) [23], расположены палеовулканические центры [24].

Все грязевые вулканы о. Сахалин находятся в тектоническом поясе Сорати–Иезо [25]. Основные углеродсодержащие газы ХССС – метан, углеводородные газы ряда этан – пентан (пентан в толще пород может находиться в газовой фазе и мигрировать на поверхность с общим потоком) и углекислый газ. Углеводородные газы ряда этан – пентан, как правило, в сумме не превышают первых процентов. Сахалинские грязевые вулканы расположены близко к районам палео- и современного вулканизма.

Активная вертикальная разгрузка флюидов в пределах Хоккайдо-Сахалинской складчатой системы проявляется в виде грязевых вулканов, термальных и минеральных источников, скоплений углеводородов (нефтяные и газовые, газоконденсатные, газовые гидраты). Скопления углеводородов приурочены к разломным зонам различной проницаемости, что свидетельствует о вертикальной миграции флюидов по флюидопроводящим системам. Основными путями миграции служат проницаемые зоны разрывных нарушений и узлы пересечений разрывов [26, 27].

В результате действия этих факторов создается повышенная проницаемость чехла, обеспечивающая вынос газов, пульпы и водонасыщенных флюидов на поверхность. Положение о. Сахалин в зоне сочленения япономорских и охотоморских структур на границах литосферных плит обуславливает его своеобразное геологическое строение, которое характеризуется большими мощностями углеводородоносных верхнемеловых и кайнозойских осадков (до 10 км на Северном Сахалине), высокой сейсмичностью и значительными градиентами тектонических движений [28].

Геотермальные системы

Химический состав газа сахалинских геотермальных систем рассмотрен на примере Дагинского и Луньского месторождений термальных вод. Содержание метана в Дагинских геотермальных источниках в среднем составляет 93 %, а углекислого газа 0.12 % [29]. Участок месторождения контролируется Восточно-Сахалинской разломной зоной и конкретно Гаромайским сейсмоактивным разломом. Для Дагинского геотермального месторождения основной компонент спонтанного газа – термогенный метан с небольшой примесью микробной компоненты с $\delta^{13}\text{C}$ -54...-57 ‰ VPDB. В таких физико-химических условиях массы закисного железа связываются в сульфиды [30]. Поэтому в ДГС основным аутигенным минералом является пирит [31]. Аутигенные пириты и карбонаты обеднены микроэлементами, что обусловлено разубоживанием минерализованных сопочных вод морскими водами [32]. Восстановительная среда в осадке создается в районах с большой скоростью накопления органического вещества (ОВ), следовательно, здесь оно подвергается наименьшей деструкции. В таких условиях в составе ОВ сохраняются легкогидролизуемые компоненты, являющиеся основой биохимических процессов диагенеза. Таким образом, обеспечивается большая сохранность потенциально нефтегазоматеринских компонентов ОВ после завершения редукции железа [33]. Выходы термальных вод с температурой до 50 °С с дебитом 20–50 л/сут известны на северо-восточном побережье

острова на широте Луньского газоконденсатного месторождения [34] ($\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ -52.8 ‰ VPDB, $\delta^{13}\text{C}-\text{CO}_2$ -39.9 ‰ VPDB, авторские данные).

Грязевые вулканы о. Сахалин

В результате многолетних наблюдений (2001–2021 гг.) был установлен средний химический состав свободных газов *Сахалинских грязевых вулканов* во время пассивных периодов: преобладающий газовый компонент для Южно-Сахалинского грязевого вулкана – CO_2 (до 74 %); значительных концентраций достигает и CH_4 (до 24 %). Главный Пугачевский грязевой вулкан характеризуется низкой интенсивностью выделения свободных газов из грифонов. Этот вулкан отличается пониженной обводненностью относительно ЮСГВ. Дегазация происходит в основном через вязкую глинистую массу фактически без пузырькового пробулькивания. Качественный состав газа ГПГВ (концентрации CO_2 ~ 25 % и CH_4 ~ 70 %) отличается от ЮСГВ. Для обоих грязевых вулканов характерно наличие тяжелых углеводородов до пентана включительно, что указывает на общность их генезиса. Пугачевский и Южно-Сахалинский грязевые вулканы во многом схожи: имеют примерно одинаковое по размерам грязевое поле, близкий характер деятельности; расположены в поле распространения газоносной высоко пластичной верхнемеловой алевролитово-аргиллитовой формации и приурочены к Центрально-Сахалинскому разлому типа взбросо-надвига. Грязевые вулканы – локальные газодренажные системы земной коры, но их следует рассматривать в системе контролирующих линейных структур. В данном случае это глубинный активный разлом субмеридианального простирания. То есть разломная зона представляет собой единую флюидодинамическую систему, на некоторых участках которой, особенно в зоне пересечения разрывных нарушений или в местах внедрения интрузивных тел, возникают специфические условия для формирования потоков газов определенного состава. Что подтверждается также современными гидрогеохимическими исследованиями [35]. На южном участке Центрально-Сахалинского разлома источник углекислого газа может быть такой же, как на ЮСГВ и ПГВ, или как и на Синегорских водоминеральных источниках. Для Южно-Сахалинского грязевого вулкана изотопный состав углерода углекислого газа – ($\delta^{13}\text{C}$ -2.8...-2.7 ‰ VPDB) и $\delta^{13}\text{C}$ метана – -27 ‰ VPDB; для Главного Пугачевского вулкана $\delta^{13}\text{C}$ метана составляет от -23...-22 ‰ VPDB. Соотношение стабильных изотопов углерода метана обоих вулканов указывает на происхождение метана в результате глубинного метаморфического преобразования рассеянного органического вещества, вероятно, с вкладом глубинных компонентов. Следует отметить, что в газах ЮСГВ и ПГВ зафиксированы повышенные концентрации гелия, они схожи по значению с ДГС и аномалией в гидратоносных осадках западного присахалинского борта Курильской котловины. Близкие гелиевые аномалии (вне зависимости от времени наблюдения) обнаружены в Пугачевском грязевом вулкане, а также в Синегорских источниках и угольных газах о. Сахалин [36]. Что также указывает на глубинный источник.

Содержание метана в приземном воздухе ЮСГВ (в пассивном состоянии) достигает 820 ppm, что на 2 порядка больше атмосферного фона. Концентрация углекислого газа в приземном воздухе достигает местами смертельно опасной концентрации – 3 %. Главный Пугачевский грязевой вулкан в этом отношении не представляет угрозы (в пассивном состоянии): содержание метана в воздухе не превышает 6 ppm, углекислого газа 0.18 %. Однако при наблюдениях после Горнозаводского (18 августа 2006 г., $M = 5.6$) и Невельского (2 августа 2007 г., $M = 6.1$) землетрясений отмечено резкое косейсмическое увеличение дебита газа в 2–5 раз по сравнению с его средним уровнем до землетрясений. Результаты совместных с ИМГиГ ДВО РАН исследований позволяют утверждать, что сильные землетрясения косейсмически влияют на дебит свободных газов ЮСГВ [18]. Выбросы метана Южно-Сахалинского грязевого вулкана составляют около 0.4 т/год. Вдоль западного побережья и в юго-западной части о. Сахалин и в осевой части о. Хоккайдо закартированы эруптивные центры палеовулканов [24, 37]. Они являются одним из возможных источ-

ников углекислого газа и причин генерации изотопно-тяжелых углеводородных газов во вмещающих отложениях. С этим согласуются аномально высокие концентрации изотопа ^{13}C в углеводе CH_4 и CO_2 , и особенно это выражено в грязевых вулканах, которые имеют общие источники вещества с Синегорским месторождением вод [35].

Углеводородные компоненты грязевых вулканов о. Сахалин

Для определения взаимосвязи качественного состава углеводородов грязевых вулканов с нефтеносностью подстилающих пород с помощью пиролитической газовой хромато-масс-спектрометрии (Руг-ГХМС) [38] был проведен качественный и полуколичественный анализ шестнадцати образцов грязевулканической брекчии Пугачевского и Южно-Сахалинского грязевых вулканов (о. Сахалин) (табл. 1).

Таблица 1. Геохимические показатели органического вещества проб из Пугачевского и Южно-Сахалинского грязевых вулканов

Table 1. Geochemical indicators of organic matter in samples from the Pugachevsky and Yuzhno-Sakhalinsky mud volcanoes

Параметры	Геохимический показатель		
	ПГВ (4 образца)	ЮСГВ (пассивный, 10 образцов)	ЮСГВ (активный, 2 образца)
$C_{\text{орг}}$	$\frac{0.88-1}{0.96}$	$\frac{0.36-1.06}{0.86}$	$\frac{0.87-1.24}{1.05}$
Pr/Ph	$\frac{0.97-1.03}{1}$	$\frac{0.78-0.91}{0.86}$	$\frac{0.73-0.77}{0.75}$
Pr/ C_{17}	$\frac{0.31-0.41}{0.37}$	$\frac{0.23-0.36}{0.29}$	$\frac{0.35-0.39}{0.37}$
Ph/ C_{18}	$\frac{0.57-0.62}{0.59}$	$\frac{0.5-0.7}{0.56}$	$\frac{0.6-0.66}{0.63}$
ОЕР ₁₇₋₁₉	$\frac{0.92-1.07}{1}$	$\frac{0.93-1.05}{1}$	$\frac{1.04-1.07}{1.05}$
$\frac{\sum C_{10}-C_{20}}{\sum C_{21}-C_{31}}$	$\frac{7.7-21.1}{14.9}$	$\frac{12.1-32.7}{19.6}$	$\frac{1.7-2.1}{1.9}$

Примечание. Над чертой приведен интервал значений, под чертой – среднее значение геохимических показателей. Индексы нечетности $\text{OEP}_{17} = \frac{C_{15} + 6C_{17} + C_{19}}{4C_{16} + 4C_{18}}$; $\text{OEP}_{19} = \frac{C_{17} + 6C_{19} + C_{21}}{4C_{18} + 4C_{20}}$. Pr/Ph – пристан-фитановый индекс, $\frac{\sum C_{10}-C_{20}}{\sum C_{21}-C_{31}}$ – индекс для расчета преобладания суммы n-алканов фракции ($\sum C_{10}-C_{20}$) над n-алканами фракции ($\sum C_{21}-C_{31}$).

Среднее содержание $C_{\text{орг}}$ в пелитовой глинистой породе Пугачевского и Южно-Сахалинского грязевых вулканов составляет 0.96 и 0.86 % соответственно. Максимальное содержание $C_{\text{орг}}$ (1.24 %) было обнаружено в двух образцах из активных грифонов ЮСГВ, что, скорее всего, вызвано поступлением обогащенного органическим веществом глинистого материала. Согласно результатам анализов органическое вещество ПГВ и ЮСГВ имеет сходный состав [37] и представлено нормальными, изо- и циклоалканами, а также ароматическими соединениями. Во всех пробах доминируют n-алканы с числом углеродных атомов от C_{10} до C_{31} , с концентрационным максимумом, приходящимся на область $C_{14}-C_{17}$, характерным для органического вещества морского генезиса. Содержание легких n-алканов ряда $C_{10}-C_{20}$ значительно выше по сравнению с более тяжелыми гомологами $C_{21}-C_{31}$ ($\frac{\sum C_{10}-C_{20}}{\sum C_{21}-C_{31}} = 14.9 - 19.6$). Соотношение пристан / фитан составляет 0.86 для

ЮСГВ и 1 для ПГВ, что указывает на слабо восстановительную обстановку диагенеза. Органическое вещество ПГВ и ЮСГВ можно отнести к зрелому типу ($OEP_{17-19} = 1$, $Pr/C_{17} = 0.29-0.37$, $Ph/C_{18} = 0.56-0.59$) со слабо выраженной степенью биодеградациии. К минорным компонентам органического вещества относятся ароматические углеводороды (алкилбензолы с длинными (C_4-C_{10}) алкильными цепями, нафталин и алкилнафталины), а также циклические углеводороды (октилциклогексан и ундецилциклогексан).

После активизации ЮСГВ в образцах выявлено увеличение доли n-алканов ряда $C_{22}-C_{25}$ ($\frac{\sum C_{10}-C_{20}}{\sum C_{21}-C_{31}} = 1.9$), что выражается в формировании двух концентрационных максимумов в областях $C_{14}-C_{17}$ и $C_{22}-C_{25}$. По нашему мнению, обогащение грязи вулкана более тяжелыми и высококипящими углеводородами в ходе извержения отражает вклад органического вещества из более глубоких подстилающих отложений, а также может быть вызвано даже довольно незначительным локальным повышением температуры грязевулканической брекчии в период активизации ЮСГВ.

Заключение и выводы

Изучение грязевых вулканов позволяет получить весьма полезную геолого-газогеохимическую информацию о глубинах, которые недоступны для современной техники. Грязевой вулканизм является своего рода индикатором региональных геодинамических и сейсмо-тектонических процессов. Наличие грязевых вулканов – один из критериев перспективности региона на нефть и газ. Грязевой вулканизм способен в значительной степени влиять на состояние окружающей среды, формируя специфические ландшафты, поставляя в атмосферу порой значительные объемы парниковых газов, выступая тем самым как мощный природный фактор преобразования среды и ее параметров.

Изучение грязевого вулканизма в пределах западной части Тихого океана, на примере о. Сахалин обозначило важность понимания данного процесса для описания полной картины геодинамических обстановок в регионе, которые играют определяющую роль в формировании вещественного состава и структуры перспективных районов с залежами углеводородов, включая нетрадиционные виды (газогидраты), твердые полезные ископаемые, в том числе аутигенной минерализации.

Химический состав сопочной брекчии, комплекс аутигенных минералов указывают на генетическое родство Южно-Сахалинского и Пугачевского грязевых вулканов. Пугачевская группа грязевых вулканов характеризуется низкой интенсивностью выделения свободных газов из грифонов. Качественный состав газа отличается от Южно-Сахалинского (относительные содержания CO_2 около 25 % и CH_4 около 70 % с вариациями). Для обоих грязевых вулканов характерно наличие тяжелых углеводородных газов до пентана включительно, что указывает на общность их генезиса. Пугачевский и Южно-Сахалинский грязевые вулканы приурочены к Центрально-Сахалинскому разлому типа взбросо-надвига и имеют сходство вследствие примерно одинакового по размерам грязевого поля, близкого характера деятельности, расположения в поле распространения газоносной высоко пластичной верхнемеловой алевролитово-аргиллитовой формации.

Спонтанные газы, поступающие в период активизации Южно-Сахалинского грязевого вулкана, способствуют миграции многих элементов, а также железа, кальция, марганца в форме растворимых гидрокарбонатных комплексов. С этим связано уменьшение содержания этих катионов в сопочной брекчии в период активизации грифонов. Процесс повышения концентраций этих элементов в илах во время пассивных периодов связан с процессами насыщения вод и илов кислородом (и окислением рассеянных сульфидов) и, как следствие, выведением из раствора окисленных форм железа, марганца и фиксацией бария в виде сульфата.

Изотопный состав углерода углекислого газа ($\delta^{13}\text{C}$ от -2.8 до -2.7 ‰ PDB) и $\delta^{13}\text{C}$ метана (-27.1 ‰ PDB), отобранных на Южно-Сахалинском грязевом вулкане проб, указывает на происхождение метана в результате глубинного метаморфического преобразования рассеянного органического и, вероятно, углистого вещества.

Идентичность химического состава обнаруженных органических компонентов Южно-Сахалинского и Пугачевского грязевых вулканов указывает на схожий состав первичного органического вещества глинистых толщ, распространенных вдоль южного сегмента Центрально-Сахалинского разлома, и схожие условия преобразования органического вещества. При этом несмотря на то, что качественный химический состав углеводородов Южно-Сахалинского и Пугачевского грязевых вулканов одинаков, он зависит от стадии их активности: в активной фазе грязевулканическая брекчия обогащается высококипящими н-алканами.

Для ДГС основным компонентом спонтанного газа является метан с изотопным составом $\delta^{13}\text{C}$ от -58.8 до -57 ‰ PDB, образование которого происходит в результате термогенного преобразования (термальные воды имеют температуру до $+70$ °C) и анаэробного разложения органического вещества с участием сульфатредуцирующих и метанообразующих бактерий при повышенных температурах. Анализ геохимических, минералогических, газогеохимических и тектонических материалов, а также данных термометрии позволяет авторам охарактеризовать участок Дагинского водо-газопроявления как уникальную газогеотермальную систему.

Весь комплекс изученного материала по грязевому вулканизму о. Сахалин показывает, что газогеохимические поля природных газов различного генезиса тесно связаны с формированием геохимического ландшафта вмещающих горных пород и осадочных отложений. Наличие на о. Сахалин мощных осадочных толщ с нефтяными и газовыми залежами, современная сейсмостектоническая активность, сложные системы разрывных нарушений представляют этот район как уникальное место для продолжения изучения этих особенностей.

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы государственного задания 124022100076-3.

Acknowledgments. The research has been carried out within the framework of the state assignment 124022100076-3.

Литература

1. Сергиенко В.И. Материалы совместного заседания Совета РАН по координации деятельности региональных отделений и региональных научных центров РАН и Научного совета РАН по изучению Арктики и Антарктики. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. С. 117–136.
2. Астахов А.С. Динамика процессов дефлюидизации Центрально-Сахалинского глубинного разлома при сейсмической активизации (по результатам мониторинга ЮСГВ в июле–августе 2001 г.) // Докл. Академии наук. 2002. Т. 386, № 2. С. 223–228.
3. Etheridge D.M. Atmospheric methane between 1000 A.D. and present: Evidence of anthropogenic emission and climatic variability // *Geophys. Res.* 1998. Vol. 103, N D13. P. 15979–15993.
4. Атлас грязевых вулканов мира / Ад.А. Алиев [и др.]. Баку: Nafta-Press, 2015. 322 с.
5. Валяев Б.М. О зональности изотопного состава углерода газов грязевых вулканов и ее тектоническом контроле // ДАН СССР. 1982. Т. 267, № 5. С. 1222–1225.
6. Валяев Б.М. Гринченко Ю.И., Ерохин В.Е., Прохоров В.С., Титков Г.А. Изотопный облик газов грязевых вулканов // Литология и полезные ископаемые. 1985. № 1. С. 85–86.
7. Холодов В.Н. О природе грязевых вулканов // *Природа*. 2001. № 11. С. 47–58.
8. Kopf A.J. Significance of Mud Volcanism // *Reviews of Geophysics*. 2002. Vol. 40 (2), 1005. P. 52. DOI: 10.1029/2000RG000093
9. Веселов О.В., Волгин П.Ф., Лютая Л.М. Строение осадочного чехла Пугачевского грязевулканического района (о. Сахалин) по данным геофизического моделирования // *Тихоокеанская геология*. 2012. Т. 31, № 6. С. 4–15.
10. Лаврушин В.Ю., Поляк Б.Г., Прасолов Э.М., Каменский И.Л. Источники вещества в продуктах грязевого вулканизма (по изотопным, гидрохимическим и геологическим данным) // Литология и полез. ископаемые. 1996. № 6. С. 625–647.

11. Мельников О.А., Ильев А.Я. О новых проявлениях грязевого вулканизма на Сахалине // Тихоокеанская геология. 1989. № 3. С. 42–48.
12. Мельников О.А., Сабиров Р.Н. Новые данные о современном состоянии и былой активности Южно-Сахалинского газодогрязевого вулкана (о. Сахалин) // Тихоокеанская геология. 1999. Т. 18, № 3. С. 37–46.
13. Мельников О.А., Ершов В.В. Грязевой (газоводолитокластитовый) вулканизм острова Сахалин: история, результаты и перспективы исследований // Вестн. ДВО РАН. 2010. № 6. С. 87–93.
14. Атлас грязевого вулканизма России. Приложение 2 (Т. 2) к выпускной квалификационной работе: Лебедева И.А. Грязевой вулканизм на территории России: выпускная квалификационная работа. Рукопись / И.А. Лебедева. Научный руководитель проф. Е.А. Скупинова. Вологда: ВоГУ: кафедра географии: лаборатория геоэкологии, 2016. 41 с.
15. Обжиров А.И. Газогеохимические поля придонного слоя морей и океанов. М.: Наука, 1993. 139 с.
16. Обжиров А.И., Астахова Н.В., Липкина М.И., Верещагина О.Ф., Мишукова Г.И., Сорочинская А.В., Югай И.Г. Газогеохимическое районирование и минеральные ассоциации дна Охотского моря. Владивосток: Дальнаука, 1999. 184 с.
17. Vereshchagina O.F., Korovitskaya E.V., Mishukova G.I. Methane in water columns and sediments of the north western Sea of Japan // Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 2013. Vol. 86/87. P. 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2012.08.017>
18. Ершов В.В., Шакиров Р.Б., Мельников О.А., Копанина А.В. Вариации параметров грязевулканической деятельности и их связь с сейсмичностью юга острова Сахалин // Региональная геология и металлогения. 2010. № 42. С. 49–57.
19. Tsunogai U., Kosaka A., Nakayama N., Komatsu D., Konno U., Kameyama S., Nakagawa F., Sumino H., Nagao K., Fujikura K., Machiyama H. Origin and fate of deep sea seeping methane bubbles at Kuroshima Knoll, Ryukyu forearc region, Japan // Geochemical Journal. 2010. Vol. 44. P. 461–476.
20. Ломтев В.Л., Жердева О.А. К сейсмоструктурной геологии Сахалина: новые подходы // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2015. № 3 (41). С. 56–58.
21. Региональный каталог землетрясений острова Сахалин, 1905–2005 / Л.Н. Поплавская, А.И. Иващенко, Л.С. Оскорбин, Т.В. Нагорных и др. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2006. 104 с.
22. Геология СССР. Т. 33. Остров Сахалин / Гл. ред. А.В. Сидоренко. Грязевые вулканы. М.: Недра, 1970. 431 с.
23. Аверьев В.В. Углекислые мышьяковистые Синегорские воды на Южном Сахалине // Геология. 1975. Т. 32. № 3. С. 143–149.
24. Харахинов В.В. Нефтегазовая геология Сахалинского региона. М.: Научный мир, 2010. 276 с.
25. Гранник В.М. Сопоставление структурных элементов Сахалина и Хоккайдо // Докл. Академии наук. 2005. Т. 400, № 5. С. 654–659.
26. Сырбу Н.С., Холмогоров А.О., Степочкин И.Е., Хазанова Е.С. Сравнительный анализ газо-геохимических данных наземного и спутникового мониторинга острова Сахалин и его шельфа (северо-восток России): тектонические следствия // Геотектоника. 2023. № 2. С. 39–56.
27. Shakirov R.B., Syrбу N.S. Natural sources of methane and carbon dioxide on Sakhalin Island and their role in the formation of ecological gas-geochemical zones // Water Resour. 2013. Vol. 40, N 7. P. 752–760. <https://doi.org/10.1134/S0097807813070129>
28. Рождественский В.С. Роль сдвигов в структуре Сахалина // Геотектоника. 1982. № 4. С. 99–110.
29. Sokolova N.L., Telegin Yu.A., Venikova A.L., Obzhiriv A.I. Studies of the Dagi Gas-Hydrothermal Vents on the East Coast of Sakhalin Island // Russian Journal of Pacific Geology. 2022. 16 (5). P. 503–509.
30. Сташук М.Ф. Термодинамика и ее применение в литологии. М.: Наука, 1985. 221 с.
31. Сорочинская А.В., Шакиров Р.Б., Веникова А.Л., Пестрикова Н.Л. Элементы-примеси в современной сопочной брекции грязевых вулканов о. Сахалин // Вестн. КРАУНЦ. 2015. № 1, вып. 25. С. 19–30.
32. Сорочинская А.В., Шакиров Р.Б., Обжиров А.И. и др. Геохимические и минералогические особенности грязевых вулканов о. Сахалин. // Вестн. ДВО РАН. 2008. № 4. С. 58–65.
33. Грецкая Е.В. Исходный нефтегазоматеринский потенциал органического вещества осадков (на примере впадин Охотского моря). Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. 111 с.
34. Жарков Р.В. Типы термальных вод Южных Курил и севера Сахалина и их влияние на ландшафты: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2008. 27 с.
35. Челноков Г.А., Жарков Р.В., Брагин И.В. и др. Геохимические характеристики подземных флюидов южной части Центрально-Сахалинского разлома // Тихоокеан. геология. 2015. Т. 34, № 5. С. 81–95.
36. Syrбу N.S., Snyder G.T., Shakirov R.B., Kholmogorov A.O., Zharkov R.V., Tsunogai U. Geochemical distribution of helium, hydrogen, carbon dioxide, and methane in Sakhalin Island mud volcanoes, hot springs, and cold seeps // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2022. Vol. 431. 107667. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2022.107667>
37. Мельников О.А. Структура и геодинамика Хоккайдо-Сахалинской складчатой области. М.: Наука, 1987. 93 с.
38. Полоник Н.С., Шакиров Р.Б., Сорочинская А.В., Обжиров А.И. Изучение состава углеводородных компонентов Южно-Сахалинского и Пугачевского грязевых вулканов // Докл. Академии наук. 2015. Т. 462, № 1. С. 79–83.

References

1. Sergienko, V.I. Materials of the joint meeting of the RAS Council on coordinating the activities of regional branches and regional scientific centers of the RAS and the RAS Scientific Council for the Study of the Arctic and Antarctic. UB RAS: Ekaterinburg, Russia. 2010, 117–136 (In Russian)
2. Astakhov, A.S. Dynamics of defluidization processes of the Central Sakhalin deep fault during seismic activation (based on the results of monitoring of the YSMV in July-August 2001). *Dokl. Earth Sci.* 2002, 386 (2), 223–228 (In Russian).
3. Etheridge, D.M. Atmospheric methane between 1000 A.D. and present: Evidence of anthropogenic emission and climatic variability. *Geophys. Res.* 1998, 103 (D13), 15979–15993.
4. Aliyev, Ad.A.; Guliyev, I.S.; Dadashov, F.H.; Rahmanov, R.R. Atlas of world mud volcanoes. Publishing house “Nafta-Press”, “Sandro Teti Editore”: Baku, 2015; 321 p.
5. Valyaev, B.M. On the zonality of the carbon isotopic composition of gases from mud volcanoes and its tectonic control. *Dokl. Earth Sci. USSR.* 1982, 267 (5), 1222–1225 (In Russian).
6. Valyaev, B.M.; Grinchenko Yu.I.; Erokhin V.E.; Prokhorov V.S.; Titkov G.A. Isotopic appearance of gases from mud volcanoes. *Lithology and Mineral Resources.* 1985, 1, 72–87 (In Russian).
7. Kholodov, V.N. About the nature of mud volcanoes. *Priroda.* 2001, 11, 47–58 (In Russian)
8. Kopf, A.J. Significance of Mud Volcanism. *Reviews of Geophysics.* 2002, 40(2), 2-1-2-52. DOI: 10.1029/2000RG000093
9. Veselov, O.V.; Volgin, P.F.; Lyutaya, L.M. The structure of the sedimentary cover of the Pugachevsky mud volcanic region (Sakhalin Island) according to geophysical modeling data. *Russian Journal of Pacific Geology.* 2012, 31 (6), 4–15 (In Russian).
10. Lavrushin, V.Yu.; Polyak, B.G.; Prasolov, E.M.; Kamensky, I.L. Sources of matter in the products of mud volcanism (according to isotope, hydrochemical and geological data). *Lithology and Mineral Resources.* 1996, 6, 625–647 (In Russian).
11. Melnikov, O.A.; Ilyev, A.Ya. About new manifestations of mud volcanism on Sakhalin Island. *Russian Journal of Pacific Geology.* 1989, 8 (3), 42–48 (In Russian).
12. Melnikov, O.A.; Sabirov, R.N. New data on the current state and past activity of the gas-mud volcano (Sakhalin Island). *Russian Journal of Pacific Geology.* 1999, 18 (3), 37–46 (In Russian)
13. Melnikov, O.A.; Ershov, V.V. Mud (gas-water-litoclastic) volcanism of Sakhalin Island: history, results and research prospects. *Vestnik of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences.* 2010, 6, 87–93 (In Russian).
14. Atlas of Mud Volcanism in Russia. Appendix 2 (Volume 2) to the final qualifying work: Lebedeva I.A. Mud Volcanism in Russia: Final Qualifying Work. Manuscript / I. A. Lebedeva. Scientific Advisor: Prof. E. A. Skupinova. – Vologda: Vologda State University, Department of Geography, Laboratory of Geoecology, 2016; 41 p. (In Russian)
15. Obzhairov, A.I. Gas geochemical fields of the bottom layer of seas and oceans. Nauka: Moscow, Russia. 1993; 139 p. (In Russian)
16. Obzhairov, A.I.; Astakhova, N.V.; Lipkina, M.I.; Vereshchagina, O.F.; Mishukova, G.I.; Sorochinskaya, A.V.; Yugai, I.G. Gas-geochemical zoning and mineral associations of the bottom of the Sea of Okhotsk. Dalnauka: Vladivostok, Russia, 1999; 184 p. (In Russian).
17. Vereshchagina, O.F.; Korovitskaya, E.V.; Mishukova, G.I. Methane in water columns and sediments of the north western Sea of Japan. In *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography.* 2013, 86–87, 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2012.08.017>
18. Ershov, V.V.; Shakirov, R.B.; Melnikov, O.A.; Kopanina, A.V. Variations in parameters of mud volcano activity and their relationship with seismicity in the south of Sakhalin Island. *Regional geology and metallogeny.* 2010, 42, 49–57 (In Russian).
19. Tsunogai, U.; Kosaka, A.; Nakayama, N.; Komatsu, D.; Konno, U.; Kameyama, S.; Nakagawa, F.; Sumino, H.; Nagao, K.; Fujikura, K.; Machiyama, H. Origin and fate of deep sea seeping methane bubbles at Kuroshima Knoll, Ryukyu forearc region, Japan. *Geochemical Journal.* 2010, V. 44, 461–476.
20. Lomtev, V.L.; Zherdeva, O.A. To the Seismotectonics of Sakhalin: New Approaches. *Geology and Mineral Resources of the World Ocean.* 2015, 3(41), 56–58 (In Russian).
21. Poplavskaya, L.N.; Ivashchenko, A.I.; Oskorbin L.S.; Nagornyykh T.V. et al. Regional Catalog of Earthquakes on Sakhalin Island, 1905–2005. IMG I FEB RAS: Yuzhno-Sakhalinsk, Russia. 2006; 104 p.
22. Geology of the USSR. Sakhalin island /Editor A.V. Sidorenko/. Nedra: Moscow, Russia, 1970, Vol. 33. 431 p. (In Russian).
23. Averyev, V.V. Carbon dioxide arsenic waters of Sinogorsk on Southern Sakhalin. *Geology.* 1975; 32(3), 143–149 (In Russian).
24. Kharakhinov, V.V. Oil and gas geology of the Sakhalin region. Nauchnyy mir: Moscow, Russia. 2010; 276 p. (In Russian)
25. Grannik, V.M. Comparison of structural elements of Sakhalin and Hokkaido. *Dokl. Earth Sci.*, 2005, 400 (5), 654–659 (In Russian).
26. Syrbu, N.S.; Kholmogorov, A.O.; Stepochkin, I.E.; Khazanova, E.S. Comparative analysis of gas-geochemical data from ground-based and satellite monitoring of Sakhalin Island and its shelf (northeast Russia): tectonic consequences. *Geotectonics.* 2023, 2, 39–56 (In Russian)

27. Shakirov, R.B.; Syrбу, N.S. Natural sources of methane and carbon dioxide on Sakhalin Island and their role in the formation of ecological gas-geochemical zones. *Water Resour.* 2013, Vol. 40, 7, 752–760. <https://doi.org/10.1134/S0097807813070129>
28. Rozhdestvensky, V.S. The role of shifts in the structure of Sakhalin. *Geotectonics.* 1982, 4, 99–110 (In Russian)
29. Sokolova, N.L.; Telegin, Yu.A.; Venikova, A.L.; Obzhіrov, A.I. Studies of the Dagi Gas-Hydrothermal Vents on the East Coast of Sakhalin Island. *Russian Journal of Pacific Geology.* 2022, 16 (5), 503–509.
30. Stashchuk, M.F. Thermodynamics and its application in lithology. Nauka: Moscow, Russia. 1985; 221 p. (In Russian)
31. Sorochinskaya, A.V.; Shakirov, R.B.; Obzhіrov, A.I. et al. Geochemical and mineralogical features of mud volcanoes on Sakhalin Island. *Vestnik of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences.* 2008, 4, 58–65 (In Russian)
32. Sorochinskaya, A.V.; Shakirov, R.B.; Venikova, A.L.; Pestrikova, N.L. Elements-admixtures in the modern mud breccias on the mud volcanoes in Sakhalin Island. *Bulletin KRAESC.* 2015, 1 (25), 19-30 (In Russian)
33. Gretskaya, E.V. Initial oil and gas source potential of organic matter in sediments (using the example of the depressions of the Sea of Okhotsk). Vladivostok, 1990; 111 p. (In Russian)
34. Zharkov, R.V. Types of thermal waters in the Southern Kuriles and northern Sakhalin and their impact on landscapes. Abstract Diss. ... Candidate of Geography. Yuzhno-Sakhalinsk: IMGG FEB RAS, 2008. 27 p. (In Russian)
35. Chelnokov, G.A.; Zharkov, R.V.; Bragin, I.V.; Veselov, O.V.; Kharitonova, N.A.; Shakirov, R.B. Geochemical characteristics of subterranean fluids of the southern Central Sakhalin Fault. *Russian Journal of Pacific Geology.* 2015, 34 (5), 81–95 (In Russian)
36. Syrбу, N.S.; Snyder, G.T.; Shakirov, R.B.; Kholmogorov, A.O.; Zharkov, R.V.; Tsunogai, U. Geochemical distribution of helium, hydrogen, carbon dioxide, and methane in Sakhalin Island mud volcanoes, hot springs, and cold seeps. *Journal of Volcanology and Geothermal Research.* 2022, V. 431. 107667. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2022.107667>
37. Melnikov, O.A. Structure and Geodynamics of the Hokkaido-Sakhalin Folded Region. Nauka: Moscow, Russia. 1987; 93 p.
38. Polonik, N.S.; Shakirov, R.B.; Sorochinskaya, A.V.; Obzhіrov, A.I. Study of the composition of hydrocarbon components of the Yuzhno-Sakhalinsk and Pugachevsky mud volcanoes. *Dokl. Earth Sci.*, 2015, 462 (1), 79–83. (In Russian)

Статья поступила в редакцию 14.07.2025; одобрена после рецензирования 17.09.25; принята к публикации 11.12.2025.

The article was submitted 14.07.2025; approved after reviewing 17.09.2025; accepted for publication 11.12.2025.



БПЛА в геоэкологических и гидрологических исследованиях

Александр Сергеевич ФЕДОРОВСКИЙ
доктор географических наук, профессор, ведущий специалист ДВО РАН
as.fedorovskiy@mail.ru
Дальневосточное отделение РАН, Владивосток, Россия

Аннотация. Рассмотрены наиболее широко используемые в научных исследованиях приборы (датчики) для БПЛА и особенности их применения для регистрации характеристик ландшафтов. Особое внимание уделено оценке стока рек по методу «площадь – скорость», в котором площадь поперечного сечения определяется промерами глубин либо рассчитывается по известному поперечному профилю и высоте водной поверхности. Средняя скорость в поперечном сечении стока оценивается по поверхностной скорости. Обобщены исследования, в которых глубина потока, высота уровня воды и поверхностная скорость течения определяются портативными приборами, установленными на легких БПЛА. Оценка глубин водоемов и высот уровня воды часто основана на методе определения структуры объекта по отображению движения «Structure from motion – SfM» и/или методе получения стереоизображений (Multi-view stereo – MVS). Среди проблем их использования: затенение воды прибрежной растительностью, солнечные блики, изменение освещенности во время полета, а также рефракция лучей. Измерение глубин может быть выполнено также лидарами и георадарами, установленными на БПЛА. Приобретает большую популярность использование портативных эхолотов, привязанных к БПЛА. Высота уровня воды, кроме оптических методов, может быть оценена установленными на БПЛА радиорадарами, акустическими и лазерными высотомерами путем вычитания расстояния, измеренного этими приборами до воды, из высотной отметки, полученной бортовым приемником GNSS. Для оценки поверхностной скорости течения воды рек по изображениям наиболее часто применяются шесть методов: LSPIV, STIV, KLT-IV, PTV, LSPTV и OTV. Установлено, что в методах LSPIV, LSPTV и OTV требуются уделять большое внимание правильному выбору соответствующих параметров, в то время как в KLT-IV и SSIV рабочий процесс более автоматизирован. Отмечен ряд ограничений применения легких БПЛА, которые могут затруднить полеты и измерения. Среди них сильный ветер, дождь, снег и другие. Необходима разработка компактных средств измерений параметров окружающей среды на существующих и новых принципах, а также грузоподъемных, ударопрочных, водонепроницаемых БПЛА, которые могут летать автономно, используя возможности машинного зрения и искусственного интеллекта, в том числе в неблагоприятных метеорологических условиях.

Ключевые слова: речной сток, расход воды, БПЛА, дистанционное зондирование

Для цитирования: Федоровский А.С. БПЛА в геоэкологических и гидрологических исследованиях // Тихоокеанская география. 2026. № 1. С. 68–82. https://doi.org/10.35735/26870509_2026_25_5.

Drones in geocological and hydrological researches

Alexander S. FEDOROVSKIY

Doctor of Geographical Sciences, Professor, Leading Specialist

as.fedorovskiy@mail.ru

Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

Abstract. This study assessed the most widely used UAV's sensors and their application in landscape characterization. Particular attention is paid to river runoff assessment using the area-velocity method, in which the cross-sectional area is determined by depth measurements or calculated from a known cross-sectional profile and water level elevation. The average velocity in the cross-sectional area is estimated from the surface velocity. Studies in which stream depth, water level, and surface current velocity are determined using portable instruments mounted on lightweight UAVs, are summarized. Estimation of the depths and heights of the water level is often based on the Structure from Motion (SfM) and/or Multi-View Stereo (MVS) methods. Challenges associated with these methods include water shading by coastal vegetation, solar glare, changes in illumination during flight, and light refraction. Depth measurements can also be performed using LiDAR and ground-penetrating radars (GPR) mounted on UAVs. It is becoming increasingly popular the use of portable «tethered» echo sounders which is kept in contact with the water surface, but controlled by the UAV. In addition to optical methods, water level elevation can be estimated using UAV-mounted radars, acoustic altimeters, and laser altimeters by subtracting the distance measured by these devices from the elevation obtained by the on-board GNSS receiver. Six methods are most commonly used to estimate river surface current velocity from imagery: LSPIV, STIV, KLT-IV, PTV, LSPTV, and OTV. It has been established that LSPIV, LSPTV, and OTV require careful selection of the appropriate parameters, while KLT-IV and SSIV employ a more automated workflow. A number of limitations of using lightweight UAVs have been noted, which can complicate flights and measurements. Among them are strong wind, rain, snow and others. There is a need to develop compact sensors based on existing and new principles, as well as load-bearing, shock-resistant, and waterproof UAVs that can fly autonomously, using machine vision and artificial intelligence, including in adverse weather conditions.

Keywords: hydrology, surface velocities, discharge, drones, image velocimetry

For citation: Fedorovskiy A.S. Drones in geocological and hydrological researches. Pacific Geography. 2026; (1):68-82. (In Russ.). https://doi.org/10.35735/26870509_2026_25_5.

Введение

Спутниковые технологии традиционно применяются для геоэкологических и гидрологических исследований, планирования природопользования и других задач [1, 2], в том числе на Дальнем Востоке [3–8]. Между тем, несмотря на возможности спутниковых технологий, во всем мире наблюдается бурный рост использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), часто называемых беспилотниками или дронами [9–12]. Доступ к спутниковым снимкам высокого и сверхвысокого пространственного разрешения бывает ограничен, часто отсутствуют снимки на конкретную дату или нужные области закрыты облачностью, кроме того, качество изображений страдает из-за влияния атмосферы и других факторов. Съемки с БПЛА не имеют подобных ограничений. Зачастую они более доступны, рентабельны и оперативны, чем традиционные спутниковые методы, а последние достижения в конструировании дронов, создании мощных источников питания двигателей, компактных датчиков (сенсоров), применении методов машинного зрения и искусственного интеллекта способствуют быстрым инновациям в их использо-

вании. БПЛА обеспечивают уникальную платформу для сбора полевых материалов между точечным масштабом (наземными станциями) и региональным (спутниковыми данными), существенно дополняя и расширяя горизонты применения традиционных методов. Уникальные возможности точных измерений характеристик природных объектов, параметров сооружений с помощью дронов позволяют говорить о возникновении нового направления в дистанционном зондировании окружающей природной среды – дронометрии [10]. Между тем в отечественной практике пока преобладают отдельные «опыты применения», в то время как требуется разработка промышленных стандартов использования БПЛА в научных исследованиях как в части их конструкций и приборного оснащения, так и в части методик эффективного применения, включая вопросы безопасности. Цель представленного обзора – рассмотреть наиболее успешный опыт применения легких БПЛА в изучении окружающей среды, сосредоточив особое внимание на водных объектах (оценке глубин водоемов, высоты водной поверхности, скорости течения и других характеристик).

Материалы и методы

Обзор построен на материалах публикаций в ведущих отечественных¹ и зарубежных² журналах, в сборниках трудов и материалах специализированных конференций, к которым есть доступ в сети Интернет, за последние 10 лет. Осуществлен поиск по всей БД eLIBRARY.RU, а также в сети Интернет по ключевым словам: «Беспилотный летательный аппарат», «БЛА», «БПЛА», «Дрон» и другим. Из внушительного списка отобрано и проанализировано только 79 публикаций, наиболее современных и соответствующих теме исследования, главным образом из-за невозможности разместить все материалы в одной статье. По этой же причине анализ дан в сугубо конспективной форме без формул, таблиц (кроме одной) и рисунков с надеждой, что заинтересованный читатель обратится непосредственно к оригинальным публикациям.

Методы получения сведений о земной поверхности с помощью БПЛА, как и спутниковых систем, определяются регистрирующими приборами (датчиками) с той лишь разницей, что носитель редко поднимается на большую высоту, поэтому достаточно качественные материалы могут быть получены относительно менее дорогостоящим оборудованием [11, 12]. Обсуждение конструкции БПЛА, вопросов навигации и управления не входит в задачи настоящего исследования, отметим только, что в работе рассматриваются часто применяемые в научных исследованиях легкие многороторные системы и аппараты с неподвижным (чаще треугольным) крылом. Первые обычно используют четыре (квадрокоптер), шесть (гексакоптер) или восемь (октокоптер) двигателей с пропеллерами; управление аппаратами осуществляется увеличением или уменьшением скорости их вращения. Вторые приводятся в движение одним или несколькими двигателями с пропеллерами в толкающей или тянущей конфигурации. Летная эффективность этих конструкций обычно выше, чем у многороторных из-за их меньшего относительного веса и того, что подъемная сила формируется за счет поверхности крыла [11, 12].

На БПЛА устанавливаются компактные бытовые, реже профессиональные цифровые фотокамеры, мультиспектральные, гиперспектральные, тепловые и микроволновые камеры, а в последнее время лазерные сканеры (лидары), радиометры и георадары. Характеристики и области применения некоторых используемых в геоэкологических и гидрологических исследованиях датчиков (сенсоров) БПЛА приведены в таблице.

¹ Вестник ДВО РАН, Вестник МГУ серия 5. География, Водные ресурсы, География и природные ресурсы, Геопрофи, Известия РАН. Серия географическая, Тр. ГГО, Тр. ГМЦ (Гидрометеорологические исследования и прогнозы), Тр. ДВНИГМИ, Тр. СибНИГМИ, Метеорология и гидрология, Тихоокеанская география, Водное хозяйство России.

² Compag, Drones, Earth Syst. Sci. Data, EPA Res. Report, Frontiers in Water, Geoscientific Model Development, HESS, Hydrol Earth Syst. Sci., J. Hydrology, JAMES, Remote Sensing, Sensors, Water, Water Resour. Res.

Краткие характеристики и области применения датчиков (сенсоров) БПЛА
(по: [11, 12], с дополнениями автора)

Table 1. Brief characteristics and fields of application of UAV's sensors

Тип камеры	Спектральный диапазон, длины волн, мкм ¹	Примеры камер	Некоторые области применения
Цифровые (RGB)	Видимый: 0.38–0.78 (красный, R: 0.6–0.78; зеленый, G: 0.5–0.6; синий, B: 0.38–0.5)	Sony NEX (APS-C), Sony α 7R (FF), Canon Power-shot S110, GoPro Hero 4, Nikon, Zemmuse-X7, X5S, X4S	ЦМР; мониторинг затоплений, снежного покрова, ледовых явлений; оценка глубин водоемов, высот уровня воды, скоростей течения рек и качества вод
Лидары (Lidar – Light detection and ranging)	Видимый и инфракрасный (ИК): 0.5–2.0	Zenmuse L1, RTL-400 Redtail, HDL-32E, ASTRALiTE EDGE	Батиметрические (зеленые) – глубина водоемов; ИК – ЦМР, высота растительности
Мультиспектральные (МС)	Видимый, RedEdge ² , ближний инфракрасный (NIR): 0.38–1.0	MicaSense, MicaSense RedEdge-MX, Parrot Sequoia+	Аналогично RGB камерам, а также: мониторинг растительности, транспирации, влажности почвы, выходов подземных вод
Гиперспектральные (ГС)	Видимый и дальний инфракрасный (LWIR): 0.38–2.5	Micro-Hyperspec, Rikola Hyperspectral, FirefLYE V185, HySpec VNIR, AvaSpec-dual, Nano-Hyperspec, Ocean Optics STS-VIS	Аналогично МС-камерам, а также: оценка гидрохимических характеристик вод; мониторинг вредоносного цветения водорослей (ВЦВ); картирование переувлажненных территорий
Тепловые инфракрасные (ИК), тепловизоры	Длинноволновый (TIR): 7.5–13.5	Zenmuse XT S, FLIR Vue Pro R, FLIR Duo Pro R, FLIR Boson LWIR, Optris PI 400i	Оценка температур поверхности ландшафтов, суммарного испарения, влажности почв; мониторинг ВЦВ, притока подземных вод
Радиометры (пассивные)	Микроволновый (MW): 1 мм–1 м	Black Swift Technologies L-band radiometer	Мониторинг затоплений, влажности почв, снежного покрова; оценка глубин водоемов, высот уровня воды
Георадары (GPR) (активные)	Микроволновый (MW): 115 мм–30 м	SPG series Geoscanners (SPG 1800, 1600, 1700 и др.), Cobra Plug-in SE-150	Оценка свойств почв, мощности снежного покрова, глубин водоемов, высот уровня подземных вод

¹ Длины электромагнитных волн (в системе СИ) обычно представляются в производных метра (м): микрометрах (мкм) = 1×10^{-6} м или в нанометрах (нм) = 1×10^{-9} м;

² RedEdge (граничный красный) – обозначение длины волны, при использовании которой хорошо видна зеленая растительность.

Цифровые фотокамеры формируют изображения (фотоснимки) в видимой области электромагнитного спектра с тремя значениями для каждого пикселя: красным (R), зеленым (G) и синим (B). Многие БПЛА поставляются со встроенными RGB-камерами. Лидары – это приборы (сканеры), излучающие электромагнитные волны оптического и инфракрасного диапазона. Для дронов разработаны компактные облегченные лидары (см. табл.). Мультиспектральные (МС) камеры позволяют получать изображения объектов в видимой и ближней инфракрасной (NIR) области. Изображения часто имеют более низкое разрешение по сравнению с фотокамерами, а также спектральные и радиометрические искажения, поэтому они поставляются с системами радиометрической калибровки. Обработка МС-изображений более сложна, чем обычных RGB-снимков [13]. Выпускаются БПЛА со встроенными МС-камерами. Гиперспектральные (ГС) камеры более высоки по стоимости, чем МС-камеры, но имеют большое число каналов (bands) и очень высокое спектральное разрешение (5–10 нм), способны регистрировать изображения объектов от видимой до дальней (тепловой) инфракрасной TIR-области. У всех камер, установленных на БПЛА, есть большое преимущество по сравнению со спутниковыми из-за отсутствия необходимости коррекции атмосферного воздействия благодаря малой высоте полета, что существенно облегчает калибровку с использованием эталонов и полевой радиометрии.

Тем не менее некоторые факторы окружающей среды, такие как высота Солнца, тени или относительно высокое соотношение сигнал / шум, заставляют применять поправки во время обработки изображений. В обзоре [14] рассмотрены вопросы использования гиперспектральных датчиков на БПЛА, в том числе создание камеры из доступных комплектующих [15]. Тепловые камеры, которые часто называются тепловизорами, получают изображение, собирая инфракрасное излучение, исходящее от почвы, растительности и других объектов, интенсивность которого зависит от температуры их поверхности. Существуют камеры с охлаждаемыми и неохлаждаемыми матрицами. Охлаждаемые матрицы, используемые в спутниковых системах, регистрируют короткие и средние волны ИК-диапазона, обеспечивают высокие разрешение и тепловую чувствительность. Приборы с неохлаждаемыми матрицами работают в ИК-диапазоне (7.5–13.5 мкм), они легче и дешевле, что делает их пригодными для установки на БПЛА. Пространственное разрешение таких камер часто не превышает 640×512 пикселей, они менее термочувствительны, чем охлаждаемые датчики, и медленнее реагируют на изменения температуры, имеют температурный дрейф на протяжении полета, поскольку корпус камеры либо нагревается, либо охлаждается, что требует введения поправок. Процессы сбора и предварительной обработки данных, радиометрическая калибровка рассмотрены в работах [16–19]. В микроволновом диапазоне применяются пассивные и активные камеры. Пассивные камеры (радиометры) регистрируют естественное тепловое излучение земной поверхности (или яркостную температуру) на длинах волн микроволнового диапазона [20]. К активным микроволновым приборам относят георадары (GPR), которые предназначены для применения на поверхности земли. При установке на БПЛА полет обычно ограничивается высотой в нескольких метрах над зондируемой поверхностью [10].

Результаты и их обсуждение

Геоэкологические исследования

Цифровые изображения (фотоснимки), полученные с применением метрических камер высокого разрешения на БПЛА и высокоточного GNSS позиционирования, наиболее широко применяются в решении топографических задач. Здесь требования к оборудованию, в том числе беспилотным воздушным судам (БВС), и съемочному процессу доведены до промышленного стандарта [21]. В геоэкологических исследованиях, в которых часто не требуется геодезическая точность съемки, применяются бытовые цифровые камеры для оценки разливов рек и озер, размеров водных объектов [22], картирования пойм рек [23, 24] и аналогичных целей.

Качество природных вод достаточно хорошо оценивается МС камерами. Так, снимки, выполненные с помощью камер MicaSense RedEdge-MX, Parrot Sequoia+ и других, используются для оценки концентрации взвешенных в воде наносов [25, 26], мониторинга вредоносного цветения водорослей [27]. Обработка МС-изображений более сложна, чем обычных RGB-снимков [28]. В последнее время применяются многоканальные ГС камеры [29], например, Nano-Hyperspec и AvaSpec-dual (640 каналов) для оценки качества вод [30, 31], мониторинга вредоносного цветения водорослей [32, 33]. Качество природной среды тесно связано с температурным и влажностным режимом. С помощью тепловых камер (тепловизоров), например, Zenmuse XT S, FLIR Vue Pro R, FLIR Duo Pro R и других регистрируется влажность почвы [34], границы водных объектов [35]. Содержание влаги в почве также успешно регистрируется в микроволновом диапазоне частот. Пассивные камеры (радиометры) регистрируют естественное тепловое излучение земной поверхности (или яркостную температуру) на длинах волн микроволнового диапазона, которая зависит от диэлектрической проницаемости, угла обзора и поляризации. Поскольку диэлектрические постоянные воды (~80) и частиц почвы (~6) существенно различаются, содержание влаги в почве влияет на яркостную температуру. Такими камерами оснащают в основном спутниковые системы.

По сравнению со спутниками, камеры БПЛА, например BST L-band radiometer, в этом диапазоне могут достигать значительно более высокого пространственного разрешения в задачах картирования запасов влаги в почве [36]. Относительно новым направлением является использование активных микроволновых георадаров (GPR) на БПЛА для оценки свойств почвенного покрова (мощность почвенных горизонтов, гранулометрический состав, влажность), измерения высоты снежного покрова и толщины льда водоемов, глубин залегания подземных вод. С их помощью выполняют промеры глубин водоемов, в том числе и по льду [10].

Гидрологические исследования

Более подробно остановимся на проблеме дистанционного измерения расходов воды в реках, которые необходимы как для оценки водных ресурсов, борьбы с затоплением территорий и других гидрологических задач, так и для геоморфологических и экологических исследований. Дистанционные методы оценки расхода воды Q в реке основаны на формуле $Q = \omega V_{\text{cp}}$ (так называемой метод «площадь – скорость»), в которой площадь поперечного сечения ω определяется промерами глубин либо рассчитывается по известному поперечному профилю гидрометрического створа и высоте уровня воды. Средняя скорость течения в поперечном сечении створа V_{cp} рассчитывается по поверхностной скорости или по формуле Шези (Манинга).

Глубина. Оптические (фотограмметрические) методы оценки глубин рек с использованием легких БПЛА (методы «Structure from motion – SfM» и «Multi-view stereo – MVS») получили широкое распространение по всему миру [37–39]. Вместе в тем исследователи отмечают ряд проблем их применения. Наиболее часто они связаны со снижением качества RGB-фотографий из-за солнечных бликов на воде и изменения освещенности во время полета [40]. Лучшие результаты в этом отношении могут дать МС- и ГС-снимки, однако их разрешение ниже, чем RGB-фотографий, что существенно снижает точность методов [41, 42]. Другая сложная проблема связана с рефракцией лучей – преломлением света на границе раздела «воздух – вода», из-за чего оцененная по снимкам глубина получается меньше реальной. Так, в работе [43] количественно оценили рельеф дна реки с глубинами до 0.70 м. Средние ошибки находились в диапазоне 1.6–8.9 см, но были значительно уменьшены после применения поправки на рефракцию. В статье [44] предложен многокамерный метод коррекции рефракции для снимков, полученных вне надира (отвесной линии). Оценки глубин до 1.5 м показали точность около 0.1 % от высоты полета. В [45] рассмотрено применение съемок с БПЛА и метода SfM для измерения глубин водных объектов и подчеркнута необходимость автоматизированных процедур для коррекции рефракции. Вопросу такой коррекции уделяется внимание в упомянутой ранее работе [43]. В статье [46] представлен метод уменьшения влияния отражения от водной поверхности, основанный на регистрации двойной последовательности изображений. Установлено, что методы SfM и MVS чувствительны к мутности потока, цвету воды и глубине, при этом средние ошибки заметно увеличивались на глубинах более 1 м.

Измерение глубин может быть выполнено также лидарами, излучающими в области частот видимого зеленого спектра. Применение компактного «зеленого» гидрографического лидара Riegl VQ-840-G, излучающего импульсы с длиной волны 0.532 мкм и предназначенного для установки на БПЛА, показано в [47]. Система была протестирована в пресноводных прудах глубиной 5–6 м с илистым дном. Лидар ASTRALiTe Edge, примененный в работе [48], позволил выполнить промеры, в 1–1.5 раза превышающие глубину, при которой еще виден стандартный белый диск (Секки). Эффективность спутниковой МС-съемки и ГС-изображений с пилотируемых самолетов и БПЛА, а также «зеленого» лидара для промеров глубин оценена на реке со средней глубиной 1.8 м. Лидарные измерения обеспечивали наибольшую точность, однако максимальная глубина проникновения

лазерного излучения и отражение лучей от дна стали важным ограничением на глубинах более 2 м. Положительный опыт оценки глубин водоемов получен при использовании георадаров [49].

Большие перспективы показали оценки глубин озера и рек с помощью привязанного к легкому БПЛА эхолота [50]. В работе [51] рассмотрено применение небольшого дрона, приводившего в движение мини-лодку с эхолотом, для исследования глубоких участков и фотосъемки с последующей обработкой снимков методом SfM для охвата более мелких участков, видимых с БПЛА, но не доступных для эхолота.

Таким образом, положительный опыт оценок глубин и картирования рельефа дна небольших рек, озер и водохранилищ доказывает, что съемки высокого разрешения с БПЛА более эффективны, чем традиционные методы, они дают уникальный материал для гидрологических целей, геоморфологических исследований и гидравлического моделирования.

Высота уровня воды. Измерение высоты уровня воды традиционно выполняется с помощью водомерных реек и других наземных приборов, а также со спутников [1, 2, 52]. Возможности БПЛА в этом вопросе продемонстрированы в работе [53], в которой описано определение уровня воды у плотины водохранилища с помощью комбинации RGB-изображений, полученных с БПЛА, и оптических методов, основанных на наземных контрольных точках. В [54] также показано, как наблюдали уровни воды в реке, комбинируя аналогично полученные RGB-изображения и алгоритмы SfM для создания ортофотопланов, но уже без использования наземных контрольных точек. Разработана целая технология оценки уровня воды по снимкам с БПЛА в нижнем бьефе плотины гидроэлектростанции в Китае, причем интересующие области были выделены на изображениях автоматически. Взаимосвязь между размером пикселей изображения и фактическим пространственным масштабом, реальной высотой и колебаниями водной поверхности, а также максимальным, средним и минимальным уровнями воды была получена с использованием калибровки [55]. Интересная методическая работа выполнена авторами статьи [56]. Они сопоставили возможности оценки уровня воды радиолокатором (радаром), акустическим высотомером и лазерным дальномером, установленным на БПЛА. Уровень водной поверхности рассчитывался путем вычитания расстояния, измеренного этими приборами до воды, из высотной отметки, полученной бортовым приемником GNSS. Радар показал лучшие результаты с точки зрения точности (0.5 % дальности) и максимальной высоты полета (60 м), тогда как акустический высотомер больше подходил для стабильной и малой высоты полета. Лазерная система оказалась полезной для узких полей зрения (особенно при затенении воды растительностью). Эти исследования показали, что измерения уровня воды, полученные с помощью дальномеров и приемников GNSS, могут обеспечить большую точность, чем космическая или воздушная высотометрия. В более поздней своей работе [57] авторы оценили высоту водной поверхности в небольших ручьях (шириной 1–2 м) с растительностью, используя радиолокационный высотомер на базе дрона с полным анализом формы сигнала, которая была на порядок лучше, чем полученная с помощью лидара или фотограмметрии. На основе аналогичного подхода разработан радиолокационный высотомер на базе БПЛА для картирования пространственного распределения высоты водной поверхности в небольшом ручье с растительностью и оценки параметров шероховатости для калибровки гидродинамических моделей. Высотомер обеспечивал измерение высоты водной поверхности с точностью 3 см и пространственным разрешением 0.5 м, что помогло авторам выявить значительные изменения коэффициентов гидравлической шероховатости [58].

Средняя скорость течения реки. Распространены несколько подходов к оценке этой характеристики. Наиболее распространенный основан на связи средней скорости течения воды с поверхностной скоростью, которую можно измерить дистанционно [59, 60]. Широко используется вероятностный подход и расчеты по формуле Шези (Манинга) [61].

Поверхностная скорость. Внедрены в практику различные методы ее мониторинга, включая использование переносных [60] и стационарных [62] радаров, в том числе уста-

новленных на БПЛА [63]. В начале 60-х годов прошлого века в нашей стране были детально разработаны методики оценки расхода воды на основе измерения поверхностной скорости течения рек путем фотографирования с самолета плавающих объектов: льдин или специально сброшенных поплавков с красителем. БПЛА дали новый импульс применению этого подхода. Развитию оптического направления способствовал детально разработанный лабораторный метод исследования скорости течения, известный под названием «Оценка скорости движения по изображениям частиц» (Particle image velocimetry – PIV) [64]. В полевом варианте этого метода поверхностная скорость течения устанавливается по серии фотографий (или видеосъемки) водной поверхности с плавающими искусственными или естественными объектами, смещающимися вниз по течению, и автоматизированной обработкой изображений. Наиболее часто применяются следующие методы оценки поверхностной скорости течения воды: LSPIV, STIV, KLT-IV, PTV, LSPTV и OTV. Одним из первых был разработан метод LSPIV [65]. Он основан на концепции объекта (particle) – группы пикселей на изображении, представляющих либо реальный объект, либо узор на воде (рябь, следы вихрей и т. п.), положение которого можно отслеживать по последовательности изображений с использованием корреляционных методов [66]. На его основе разработан второй подход, результатом которого стал усовершенствованный метод STIV, работающий быстрее, поскольку отслеживание выполняется не по площади, а по профилям – линиям вдоль основного направления потока [67]. Третий подход основан на анализе оптического потока с помощью алгоритмов компьютерного зрения. Одна из его версий базируется на так называемом подходе Лукаса-Канаде (KLT-IV или KLT). Современная реализация метода KLT-IV основана на минимизации различий в значениях оттенков серого цвета между шаблоном и областью поиска путем адаптации параметров аффинного преобразования в рамках процедуры оптимизации [68, 69]. В методе LSPTV вместо использования областей в качестве шаблонов, как в LSPIV, сначала обнаруживаются отдельные частицы, а затем их ищут на последующих изображениях. PTV – это вариант отслеживания объектов, в котором используются методы корреляции, как в LSPIV. Метод SSIV – дальнейшее развитие LSPIV, также использующий корреляцию для вычисления скорости поверхностного потока. Он позволяет снижать влияние теней и бликов света на изображении на оценку скорости течения и требования к плотности засева поверхности потока. В методе используется калиброванная камера для исправления геометрических искажений изображений [70]. Метод OTV использует автоматическое обнаружение объектов на поверхности воды и отслеживание с помощью алгоритма Лукаса-Канаде [71] с последующей фильтрацией, позволяющей сохранить только реальные траектории движения объектов, требует минимального ввода данных о направлении потока и ориентации камеры [72].

Метод LSPIV является наиболее широко используемым, однако он может занижать скорости, что подробно показано авторами [73], которые вместо него предпочитают PTV. В большой методической работе [74] выполнено сравнение методов LSPIV, LSPTV, KLT-IV, OTV и SSIV в условиях низких скоростей течения (около 0.12 м/с). Отмечено, что LSPIV, LSPTV и OTV потребовали больших усилий для правильного выбора соответствующих параметров, тогда как в KLT-IV и SSIV рабочий процесс более автоматизирован. В целом отклонения оцененных этими методами скоростей течения от стандартных гидрометрических измерений находились в пределах 0.05 м/с.

Оценка скоростей течения и речного стока оптическим методом выполняется на гидрометрических постах стационарными камерами и мобильными камерами на БПЛА. Так, в университете Кобэ (Япония) разработана система наблюдений за поверхностной скоростью по методу STIV при оценке расхода воды в реке. Система получила название KU-STIV (Kobe university space-time image velocimetry). Скорость потока вычисляется по времени, в течение которого рябь на водной поверхности или плавающие предметы переместятся вдоль реки. Поверхностные скорости и расходы воды, оцененные этой системой, находятся в хорошем соответствии с данными стандартных ручных измерений [65, 67].

Оценки скорости течения воды с помощью фотокамеры, установленной на БПЛА, также получили большое развитие. Например, система KU-STIV эффективно работает как со стационарными камерами, так и с мобильными на дронах [67]. В работе [75] авторы сравнили результаты расчета поверхностных скоростей течения по изображениям, полученным с БПЛА, методами: LSPIV, LSPTV и STIV. Хотя они показали схожие результаты, авторы указывают на необходимость дальнейшего совершенствования этих подходов. В работах [76, 77] измеряли поверхностные скорости течения небольших рек с применением метода LSPIV. Авторы использовали подвес для обеспечения вертикального положения оптической оси объектива камеры, что позволило исключить необходимость удаления искажений в изображениях. В [78] получили удовлетворительные результаты сравнения расходов воды, оцененных методом LSPIV по изображениям с БПЛА, с береговой стационарной камеры, акустическим профилометром и вертушкой. В исследовании [79] объединили съемки с БПЛА и спутников Gaofen-2, SPOT-5 и Sentinel-2 для оценки параметров формулы Манинга и получили точные значения расходов воды на 24 реках на Тибетском нагорье на протяжении длительного периода времени.

Заключение и выводы

БПЛА в качестве платформ геоэкологического и гидрологического мониторинга существенно дополняют традиционные спутниковые и наземные наблюдения, они более доступны, рентабельны и оперативны, чем традиционные методы, это открывает новые возможности для оценки характеристик земной поверхности, достижения пространственно-временного разрешения, необходимого для более глубокого понимания и прогнозирования природных процессов. Вместе с тем применение легких БПЛА имеет ряд ограничений и проблем. Среди наиболее очевидных – погодные условия, такие как сильный ветер, дождь, снег, которые могут затруднить полеты. Солнечные блики, затенение водной поверхности растительностью могут ухудшить качество изображений, что ведет к необходимости применения более дорогих средств измерений и разработки алгоритмов коррекции, специфичных для полета и условий окружающей среды. Обеспечение требуемой точности в определении положения аппарата и выравнивание изображений, в особенности над водной поверхностью, невозможность летать автономно без GPS представляет собой еще один проблемный аспект. Низкая грузоподъемность, ограничивающая количество оборудования на платформе, короткое время полета также требуют новых технологических инноваций. Многие рассмотренные здесь статьи отражают необходимость увеличения исследовательских усилий и получения большего опыта применения БПЛА в гидрологии и геоэкологии. Необходимо проведение фундаментальных и прикладных исследований для разработки компактных средств измерений глубин водоемов, высот водной поверхности, скоростей течения или непосредственно расходов воды в реках на основе лазерных, радиолокационных и других технологий. Актуальна разработка ударопрочных, водонепроницаемых БПЛА, которые могут летать автономно, используя возможности машинного зрения и искусственного интеллекта, в том числе в неблагоприятных метеорологических условиях.

Литература

1. Виноградов Б.В., Кондратьев К.Я. Космические методы земледения. Л.: Гидрометеоздат, 1971. 190 с.
2. McCabe M.F., Rodell M., Alsdorf D.E., Miralles D.G., Uijlenhoet R., Wagner W., Lucieer A., Houborg R., Verhoest N.E.C., Franz T.E., Shi J., Gao H., Wood E.F. The future of earth observation in hydrology // *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2017. Vol. 21(7). P. 3879–3914.
3. Ганзей С.С., Ермошин В.В., Мишина Н.В., Ширанова Т. Современное использование земель в бассейне Амура // *География и природные ресурсы.* 2007. № 2. С. 17–25.
4. Бакланов П.Я., Ганзей С.С. Трансграничные территории: проблемы устойчивого природопользования. Владивосток: Дальнаука, 2008. 215 с.

5. Ермошин В.В., Ганзей С.С., Мишина Н.В. Информационное обеспечение геоэкономических исследований в бассейне р. Амур // *Вестн. ДВО РАН*. 2010. № 1. С. 107–113.
6. Алексанин А.И., Краснопеев С.М., Морозов М.А., Фомин Е.В. Совмещение изображений с российских спутников «Ресурс-П» // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2018. Т. 15. № 1. С. 18–28.
7. Егидарев Е.Г., Горбатенко Л.В., Тоняткин Д.Г. Оценка зоны затопления поймы реки Амур в 2013 г. на основе данных космического мониторинга // *Вестн. ДВО РАН*. 2021. № 6. С. 56–64.
8. Неров И.О., Краснопеев С.М., Бугаец А.Н., Беликов В.В., Глотко А.В., Борисова Н.М., Васильева Е.С., Кролевецкая Ю.В. Опыт создания цифровой модели рельефа для гидродинамических расчетов в бассейне р. Амур // *Вестн. ДВО РАН*. 2021 № 6. С. 45–56.
9. Плюснин В.М., Макаров С.А., Воробьева И.Б., Власова Н.В. Всероссийская научно-практическая конференция «Применение беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях» // *География и природные ресурсы*. 2018. № 4. С. 195–196.
10. Федоровский А.С. Новые возможности исследования рек с помощью БПЛА // *Сб. науч. статей «Физика геосфер»*. Вып. 2. Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2020. С. 177–191.
11. Acharya B.S., Bhandari M., Bandini F., Pizarro A., Perks M. et al. Unmanned aerial vehicles in hydrology and water management: applications challenges and perspectives // *Water Resour. Res.* 2021. Vol. 57. e2021WR029925.
12. Vélez-Nicolás M., García-López S., Barbero L., Ruiz-Ortiz V., Sánchez-Bellón Á. Applications of unmanned aerial systems (UASs) in hydrology: a review // *Remote Sens.* 2021. Vol. 13. 1359.
13. Yao H., Qin R., Chen X. Unmanned aerial vehicle for remote sensing applications – a review // *Remote Sens.* 2019. Vol. 11. 1443.
14. Adão T., Hruška J., Pádua L., Bessa J., Peres E., Morais R., Sousa J.J. Hyperspectral imaging: a review on UAV-based sensors, data processing and applications for agriculture and forestry // *Remote Sens.* 2017. Vol. 9. 1110.
15. Mao Y., Betters C.H., Evans B., Artlett C.P., Leon-Saval S.G., Garske S., Cairns I.H., Cocks T., Winter R., Dell T. Open HSI: a complete open-source hyperspectral imaging solution for everyone // *Remote Sens.* 2022. Vol. 14. 2244.
16. Mesas-Carrascosa F.-J., Pérez-Porras F., De Larriva J.E.M., Frau C.M., Agüera-Vega F., Carvajal-Ramírez F., Martínez-Carricondo P., García-Ferrer A. Drift correction of lightweight microbolometer thermal sensors on-board unmanned aerial vehicles // *Remote Sens.* 2018. Vol. 10. 615.
17. Pajares G. Overview and current status of remote sensing applications based on unmanned aerial vehicles (UAVs) // *Photogram. Eng. Remote Sens.* 2015. Vol. 81. P. 281–330.
18. Döpper V., Gränzig T., Kleinschmit B., Förster M. Challenges in UAS-based TIR imagery processing: image alignment and uncertainty quantification // *Remote Sens.* 2020. Vol. 12. 1552.
19. Virtue J., Turner D., Williams G., Zeliadt S., McCabe M., Lucieer A. Thermal sensor calibration for unmanned aerial systems using an external heated shutter // *Drones*. 2021. Vol. 5. 119.
20. Golubkov G.V., Manzhelii M.I., Berlin A.A., Lushnikov A.A., Eppelbaum L.V. Effects of the interaction of microwave radiation with the atmosphere on the passive remote sensing of the Earth's surface: problems and solutions (review) // *Russian Journal of Physical Chemistry B*. 2018. Vol. 12. P. 725–748.
21. ГОСТ Р 59328 – 2021. Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования. М.: Стандартинформ, 2021. 36 с.
22. Tymków P., Józkwó G., Walicka A., Karpina M., Borkowski A. Identification of water body extent based on remote sensing data collected with unmanned aerial vehicle // *Water*. 2019. Vol. 11. 338.
23. Махинов А.Н., Ким В.И., Дугаева Я.Ю., Козырев Р.С., Матвеев Д.В. Опыт применения БПЛА «Фантом-4» при изучении опасных проявлений русловых процессов в Хабаровском крае // *Применение беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции*. Иркутск: ИГ СО РАН, 2018. С. 85–89.
24. Schumann G.J.P., Muhlhausen J., Andreadis K.M. Rapid mapping of small-scale river-floodplain environments using UAV SfM supports classical theory // *Remote Sens.* 2019. Vol. 11. 982. 28.
25. Larson M.D., Simic Milas A., Vincent R.K., Evans J.E. Multi-depth suspended sediment estimation using high-resolution remote-sensing UAV in Maumee River, Ohio // *Int. J. Remote Sens.* 2018. Vol. 39. P. 5472–5489.
26. Wojcik K.A., Bialik R.J., Osinska M., Figielski M. Investigation of sediment-rich glacial meltwater plumes using a high-resolution multispectral sensor mounted on an unmanned aerial vehicle // *Water*. 2019. Vol. 11. 2405.
27. Olivetti D., Cicerelli R., Martinez J.-M., Almeida T., Casari R., Borges H., Roig H. Comparing unmanned aerial multispectral and hyperspectral imagery for harmful algal bloom monitoring in artificial ponds used for fish farming // *Drones*. 2023. Vol. 7. 410.
28. Yao H., Qin R., Chen X. Unmanned aerial vehicle for remote sensing applications – a review // *Remote Sens.* 2019. Vol. 11. 1443.
29. Colomina I., Molina P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: a review // *ISPRS J. Photogram. Remote Sens.* 2014. Vol. 92. P. 79–97. 37.
30. Zeng C., Richardson M., King D.J. The impacts of environmental variables on water reflectance measured using a lightweight unmanned aerial vehicle (UAV)-based spectrometer system // *ISPRS J. Photogram. Remote Sens.* 2017. Vol. 130. P. 217–230.

31. Zhang Y., Wu L., Ren H., Liu Y., Zheng Y., Liu Y., Dong J. Mapping water quality parameters in urban rivers from hyperspectral images using a new self-adapting selection of multiple artificial neural networks // *Remote Sens.* 2020. Vol. 12. 336.
32. Shang S., Lee Z., Lin G., Hu C., Shi L., Zhang Y., Li, X., Wu J., Yan J. Sensing an intense phytoplankton bloom in the western Taiwan Strait from radiometric measurements on a UAV // *Remote Sens. Environ.* 2017. Vol. 198. P. 85–94.
33. Kwon Y.S., Pyo J., Kwon Y.-H., Duan H., Cho K.H., Park Y. Drone-based hyperspectral remote sensing of cyanobacteria using vertical cumulative pigment concentration in a deep reservoir // *Remote Sens. Environ.* 2020. Vol. 236. 416.
34. Hsu W.-L., Chang K.-T. Cross-estimation of soil moisture using thermal infrared images with different resolutions // *Sensors and Materials.* 2019. Vol. 31. 387.
35. Dugdale S.J., Kelleher C.A., Malcolm I.A., Caldwell S., Hannah D.M. Assessing the potential of drone-based thermal infrared imagery for quantifying river temperature heterogeneity // *Hydrol. Process.* 2019. Vol. 33. P. 1152–1163.
36. Soil Moisture Mapping. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://bst.aero/soil-mosture-mapping/> (дата обращения: 22.09.2025).
37. Acharya B.S., Bhandari M., Bandini F., Pizarro A., Perks M. et al. Unmanned aerial vehicles in hydrology and water management: applications challenges and perspectives // *Water Resour. Res.* 2021. Vol. 57. e2021WR029925.
38. Vélez-Nicolás M., García-López S., Barbero L., Ruiz-Ortiz V., Sánchez-Bellón Á. Applications of unmanned aerial systems (UASs) in hydrology: a review // *Remote Sens.* 2021. Vol. 13. 1359.
39. Sibanda M., Mutanga O., Chimonyo V.G.P., Clulow A.D., Shoko C., Mazvimavi D., Dube T., Mabhaudhi T. Application of drone technologies in surface water resources monitoring and assessment: a systematic review of progress challenges and opportunities in the Global South // *Drones.* 2021. Vol. 5. 84.
40. Flener C., Vaaja M., Jaakkola A., Krooks A., Kaartinen H., Kukko A., Kasvi E., Hyypä H., Hyypä J., Alho P. Seamless mapping of river channels at high resolution using mobile lidar and UAV-photography // *Remote Sens.* 2013. Vol. 5. P. 6382–6407.
41. Gentile V., Mróz M., Spitoni M., Lejot J., Piégay H., Demarchi L. Bathymetric mapping of shallow rivers with UAV hyperspectral data // *Proceedings of the Fifth International Conference on Telecommunications and Remote Sensing.* Milan. 2016. P. 43–49.
42. Legleiter C.J., McDonald R.R., Nelson J.M., Kinzel P.J., Perroy R.L., Baek D., Seo I.W. Remote sensing of tracer dye concentrations to support dispersion studies in river channels // *J. Ecohydraulics.* 2019. Vol. 4. P. 131–146.
43. Woodget A.S., Dietrich J.T., Wilson R.T. Quantifying below-water fluvial geomorphic change: the implications of refraction correction water surface elevations and spatially variable error // *Remote Sens.* 2019. Vol. 11. 2415.
44. Dietrich J.T. Bathymetric structure-from-motion: extracting shallow stream bathymetry from multi-view stereo photogrammetry // *Earth Surf. Proc. Land.* 2017. Vol. 42. P. 355–364.
45. Carrivick J.L., Smith M.W. Fluvial and aquatic applications of Structure from Motion photogrammetry and unmanned aerial vehicle/drone technology // *Wiley Interdiscip. Rev. Water.* 2019. Vol. 6. e1328.
46. Partama I.Y., Kanno A., Ueda M., Akamatsu Y., Inui R., Sekine M., Yamamoto K., Imai T., Higuchi T. Removal of watersurface reflection effects with a temporal minimum filter for UAV-based shallow-water photogrammetry // *Earth Surf. Process. Land.* 2018. Vol. 43. P. 2673–2682.
47. Mandlbürger G., Pfennigbauer M., Schwarz R., Flory S., Nussbaumer L. Concept and performance evaluation of a novel UAV borne topo-bathymetric lidar sensor // *Remote Sensing.* 2020. Vol. 12. 986.
48. Kinzel P.J., Legleiter C.J. sUAS-based remote sensing of river discharge using thermal particle image velocimetry and bathymetric lidar // *Remote Sens.* 2019. Vol. 11. 2317.
49. Melcher N.B., Costa J.E., Haeni F.P., Cheng R.T., Thurman E.M., Buursink M. et al. River discharge measurements by using helicopter-mounted radar // *Geophysical Research Letters.* 2002. Vol. 29. P. 41–44.
50. Bandini F., Olesen D., Jakobsen J., Kittel C.M.M., Wang S., García M., Bauer-Gottwein P. Technical note: bathymetry observations of inland water bodies using a tethered single-beam sonar controlled by an unmanned aerial vehicle // *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2018. Vol. 22. P. 4165–4181.
51. Álvarez L.V., Moreno H.A., Segales A.R., Pham T.G., Pillar-Little E.A., Chilson P.B. Merging unmanned aerial systems (UAS) imagery and echo soundings with an adaptive sampling technique for bathymetric surveys // *Remote Sens.* 2018. Vol. 10. 1362.
52. Богатов, В.В. Федоровский А.С. Основы речной гидрологии и гидробиологии. Владивосток: Дальнаука, 2017. 388 с.
53. Ridolfi E., Manciola P. Water level measurements from drones: a pilot case study at a dam site // *Water.* 2018. Vol. 10. 297.
54. Niedzielski T., Witek M., Spallek W. Observing river stages using unmanned aerial vehicles // *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2016. Vol. 20. P. 3193–3205.
55. Gao A., Wu S., Wang F., Wu X., Xu P., Yu L., Zhu S. A Newly developed unmanned aerial vehicle (UAV) imagery based technology for field measurement of water level // *Water.* 2019. Vol. 11. 124.
56. Bandini F., Butts M., Jacobsen T.V., Bauer-Gottwein P. Water level observations from unmanned aerial vehicles for improving estimates of surface water-groundwater interaction // *Hydrol. Process.* 2017. Vol. 31. P. 4371–4383.
57. Bandini F., Sunding T.P., Linde J., Smith O., Jensen I.K., Köppl C.J., Butts M., Bauer-Gottwein P. Unmanned aerial system (UAS) observations of water surface elevation in a small stream: comparison of radar altimetry lidar and photogrammetry techniques // *Remote Sens. Environ.* 2020. Vol. 237. 111487.

58. Jiang L., Bandini F., Smith O., Jensen I.K., Bauer-Gottwein P. The value of distributed high-resolution UAV-borne observations of water surface elevation for river management and hydrodynamic modeling // *Remote Sens.* 2020. Vol. 12. 1171.
59. Le Coz J., Hauet A., Pierrefeu G., Dramais G., Camenen B. Performance of image-based velocimetry (LSPIV) applied to flashflood discharge measurements in Mediterranean rivers // *Journal of Hydrology.* 2010. Vol. 394. P. 42–52.
60. Welber M., Le Coz J., Laronne J.B., Zolezzi G., Zamler D., Dramais G., Hauet A., Salvaro M. Field assessment of noncontact stream gauging using portable surface velocity radars (SVR) // *Water Resour. Res.* 2016. Vol. 52(2). P. 1108–1126.
61. Moramarco T., Singh V.P. Formulation of the entropy parameter based on hydraulic and geometric characteristics of river cross sections // *J. Hydrol. Eng.* 2010. Vol. 15. P. 852–858.
62. Расходомеры для безнапорных каналов SOMMER RQ-30 и SOMMER RG-30. 2024. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://all-pribors.ru/opisanie/59861-15-sommer-rq-30-i-sommer-rg-30-71904> (дата обращения: 22 сентября 2025).
63. Fulton J., Anderson I., Chiu C.-L., Sommer W., Adams J., Moramarco T., Bjerklie D., Fulford J., Sloan J., Best H. et al. QCam: sUAS-based doppler radar for measuring river discharge // *Remote Sens.* 2020. Vol. 12. 3317.
64. Raffel M., Willert C.E., Scarano F., Kahler C.J., Wereley S.T., Kompenhans J. Particle image velocimetry: a practical guide. Springer. 2018. 670 p.
65. Fujita I., Muste M., Kruger A. Large-scale particle image velocimetry for flow analysis in hydraulic engineering applications // *J. Hydraulic Res.* 1998. Vol. 36. P. 397–414.
66. Muste M., Fujita I., Hauet A. Large-scale particle image velocimetry for measurements in riverine environments // *Water Resour. Res.* 2008. Vol. 44. W00D14.
67. Fujita I., Watanabe H., Tsubaki R. Development of a nonintrusive and efficient flow monitoring technique: the space–time image velocimetry (STIV) // *Int. J. River Basin Manag.* 2007. Vol. 5. P. 105–114.
68. Perks M.T., Russell A.J., Large A.R.G. Technical note: advances in flash flood monitoring using unmanned aerial vehicles (UAVs) // *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2016. Vol. 20. P. 4005–4015.
69. Perks M.T. KLT-IV v1.0: Image velocimetry software for use with fixed and mobile platforms // *Geoscientific Model Development.* 2020. Vol. 13. P. 6111–6130.
70. Leitão J.P., Peña-Haro S., Lüthi B., Scheidegger A., de Vitry M.M. Urban overland runoff velocity measurement with consumer-grade surveillance cameras and surface structure image velocimetry // *J. Hydrol.* 2018. Vol. 565. P. 791–804.
71. Barron J.L., Fleet D.J., Beauchemin S.S. Performance of optical flow techniques // *Int. J. Comput. Vis.* 1994. Vol. 12. P. 43–77.
72. Tauro F., Tosi F., Mattoccia S., Toth E., Piscopia R., Grimaldi S. Optical tracking velocimetry (OTV): leveraging optical flow and trajectory-based filtering for surface streamflow observations // *Remote Sens.* 2018. Vol. 10. 2010.
73. Tauro F., Piscopia R., Grimaldi S. Streamflow observations from cameras: large-scale particle image velocimetry or particle tracking velocimetry? // *Water Resour. Res.* 2017. Vol. 53. P. 10374–10394.
74. Pearce S., Ljubičić R., Peña-Haro S., Perks M., Tauro F., Pizarro A., Sasso S.F.D., Strelnikova D., Grimaldi S., Maddock I. et al. An evaluation of image velocimetry techniques under low flow conditions and high seeding densities using unmanned aerial systems // *Remote Sens.* 2020. Vol. 12. 232.
75. Koutalakis P., Tzoraki O., Zaimis G. UAVs for hydrologic scopes: application of a low-cost UAV to estimate surface water velocity by using three different image-based methods // *Drones.* 2019. Vol. 3. 14.
76. Tauro F., Pagano C., Phamduy P., Grimaldi S., Porfiri M. Large-scale particle image velocimetry from an unmanned aerial vehicle // *IEEE/ASME Trans. Mechatronics.* 2015. Vol. 20. P. 3269–3275.
77. Tauro F., Petroselli A., Porfiri M., Giandomenico L., Bernardi G., Mele F., Spina D., Grimaldi S. A novel permanent gauge-cam station for surface-flow observations on the Tiber River // *Geosci. Instrum. Methods Data Syst.* 2016. Vol. 5. P. 241–251.
78. Lewis Q.W., Lindroth E.M., Rhoads B.L. Integrating unmanned aerial systems and LSPIV for rapid cost-effective stream gauging // *J. Hydrol.* 2018. Vol. 560. P. 230–246.
79. Lou H., Wang P., Yang S., Hao F., Ren X., Wang Y., Shi L., Wang J., Gong T. Combining and comparing an unmanned aerial vehicle and multiple remote sensing satellites to calculate long-term river discharge in an ungauged water source region on the Tibetan Plateau // *Remote Sens.* 2020. Vol. 12. 2155.

References

1. Vinogradov, B.V.; Kondratiev, K.Ya. Space methods of geoscience. Gidrometeoizdat: Leningrad, Russia, 1971; 190 p. (In Russian)
2. McCabe, M.F.; Rodell, M.; Alsdorf, D.E.; Miralles, D.G.; Uijlenhoet, R.; Wagner, W.; Lucieer, A.; Houborg, R.; Verhoest, N.E.C.; Franz, T.E.; Shi, J.; Gao, H.; Wood, E.F. The future of earth observation in hydrology. *Hydrol Earth Syst Sci.* 2017, 21(7), 3879–3914.
3. Ganzei, S.S.; Ermoshin, V.V.; Mishina, N.V.; Shiraiva, T. Modern land-use in the Amur River basin. *Geography and natural resources.* 2007, 2, 17–25. (In Russian)

4. Baklanov, P.Ya.; Ganzei, S.S. Transboundary territories: problems of sustainable environmental management. *Dal'nauka: Vladivostok, Russia*. 2008; 215 p. (In Russian)
5. Ermoshin, V.V.; Ganzei, S.S.; Mishina, N.V. GIS-provision for geo-ecological investigations of the Amur River basin. *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2010, 1, 107–113. (In Russian)
6. Aleksanin, A.I.; Krasnopeev, S.M.; Morozov, M.A. Fomin E.V. Combination of images from Russian satellites “Resurs-P”. *Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space*. 2018, 15, 18–28. (In Russian)
7. Egidarev, E.G.; Gorbatenko, L.V.; Tyunyatkin, D.G. Assessment of the flood zone of the Amur River floodplain in 2013 based on space monitoring data. *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2021, 6, 56–64. (In Russian)
8. Nerov, I.O.; Krasnopeev, S.M.; Bugaets, A.N.; Belikov, V.V.; Glotko, A.V.; Borisova, N.M.; Vasilyeva, E.S.; Krolevetskaya, Yu.V. Experience in creating a digital relief model for hydrodynamic calculations in the Amur river basin. *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2021, 6, 45–56. (In Russian)
9. Plyusnin, V.M.; Makarov, S.A.; Vorobyova, I.B.; Vlasova, N.V. All-Russian scientific and practical conference “Application of unmanned aerial vehicles in geographical research”. *Geography and natural resources*. 2018, 4, 195–196. (In Russian)
10. Fedorovsky, A.S. New opportunities for river research using UAVs. In *Physics of Geospheres. V. 2*. TOI FEB RAS: Vladivostok, Russia. 2020, 177–191. (In Russian)
11. Acharya, B.S.; Bhandari, M.; Bandini, F.; Pizarro, A.; Perks, M. et al. Unmanned aerial vehicles in hydrology and water management: applications, challenges, and perspectives. *Water Resources*. 2021, 57, e2021WR029925.
12. Véléz-Nicolás, M.; García-López, S.; Barbero, L.; Ruiz-Ortiz, V.; Sánchez-Bellón, Á. Applications of unmanned aerial systems (UAS) in hydrology: a review. *Remote Sens*. 2021, 13, 1359.
13. Yao, H.; Qin, R.; Chen, X. Unmanned aerial vehicle for remote sensing applications – a review. *Remote Sens*. 2019, 11, 1443.
14. Adão, T.; Hruška, J.; Pádua, L.; Bessa, J.; Peres, E.; Morais, R.; Sousa, J.J. Hyperspectral imaging: a review on UAV-based sensors, data processing and applications for agriculture and forestry. *Remote Sens*. 2017, 9, 1110.
15. Mao, Y.; Betters, C.H.; Evans, B.; Artlett, C.P.; Leon-Saval, S.G.; Garske, S.; Cairns, I.H.; Cocks, T.; Winter, R.; Dell, T. Open HSI: a complete open-source hyperspectral imaging solution for everyone. *Remote Sens*. 2022, 14, 2244.
16. Mesas-Carrascosa, F.-J.; Pérez-Porras, F.; De Larriva, J.E.M.; Frau, C.M.; Agüera-Vega, F.; Carvajal-Ramírez, F.; Martínez-Carricondo, P.; García-Ferrer, A. Drift correction of lightweight microbolometer thermal sensors on-board unmanned aerial vehicles. *Remote Sens*. 2018, 10, 615.
17. Pajares, G. Overview and current status of remote sensing applications based on unmanned aerial vehicles (UAVs). *Photogramm. Eng. Remote Sens*. 2015, 81, 281–330.
18. Döpper, V.; Gränzig, T.; Kleinschmit, B.; Förster, M. Challenges in UAS-based TIR imagery processing: image alignment and uncertainty quantification. *Remote Sens*. 2020, 12, 1552.
19. Virtue, J.; Turner, D.; Williams, G.; Zeliadt, S.; McCabe, M.; Lucieer, A. Thermal sensor calibration for unmanned aerial systems using an external heated shutter. *Drones*. 2021, 5, 119.
20. Golubkov, G.V.; Manzhelii, M.I.; Berlin, A.A.; Lushnikov, A.A.; Eppelbaum, L.V. Effects of the interaction of microwave radiation with the atmosphere on the passive remote sensing of the Earth’s surface: problems and solutions (a review). *Russian Journal of Physical Chemistry B*. 2018, 12, 725–748.
21. GOST R 59328 – 2021. Topographic aerial photography. Technical requirements. Standartinform: Moscow, Russia. 2021; 36 p.
22. Tymkow, P.; Józkwó, G.; Walicka, A.; Karpina, M.; Borkowski, A. Identification of water body extent based on remote sensing data collected with unmanned aerial vehicle. *Water*. 2019, 11, 338.
23. Makhinov, A.N.; Kim, V.I.; Dugaeva, Y.Yu.; Kozyrev, R.S.; Matveenko, D.V. Experience of using the Phantom-4 UAV when studying dangerous manifestations of riverbed processes in the Khabarovsk region. In *Use of unmanned aerial vehicles in geographical researches. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference*. IG SB RAS: Irkutsk, Russia, 2018, 85–89. (In Russian)
24. Schumann, G.J.P.; Muhlhausen, J.; Andreadis, K.M. Rapid mapping of small-scale river-floodplain environments using UAV SfM supports classical theory. *Remote Sens*. 2019, 11, 982.
25. Larson, M.D.; Simic Milas, A.; Vincent, R.K.; Evans, J.E. Multi-depth suspended sediment estimation using high-resolution remote-sensing UAV in Maumee River, Ohio. *Int. J. Remote Sens*. 2018, 39, 5472–5489.
26. Wojcik, K.A.; Bialik, R.J.; Osinska, M.; Figielski, M. Investigation of sediment-rich glacial meltwater plumes using a high-resolution multispectral sensor mounted on an unmanned aerial vehicle. *Water*. 2019, 11, 2405.
27. Olivetti, D.; Cicerelli, R.; Martinez, J.-M.; Almeida, T.; Casari, R.; Borges, H.; Roig, H. Comparing unmanned aerial multispectral and hyperspectral imagery for harmful algal bloom monitoring in artificial ponds used for fish farming. *Drones*. 2023, 7, 410.
28. Yao, H.; Qin, R.; Chen, X. Unmanned aerial vehicle for remote sensing applications – a review. *Remote Sens*. 2019, 11, 1443.
29. Colomina, I.; Molina, P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: a review. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens*. 2014, 92, 79–97.
30. Zeng, C.; Richardson, M.; King, D.J. The impacts of environmental variables on water reflectance measured using a lightweight unmanned aerial vehicle (UAV)-based spectrometer system. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens*. 2017, 130, 217–230.

31. Zhang, Y.; Wu, L.; Ren, H.; Liu, Y.; Zheng, Y.; Liu, Y.; Dong, J. Mapping water quality parameters in urban rivers from hyperspectral images using a new self-adapting selection of multiple artificial neural networks. *Remote Sens.* 2020, 12, 336.
32. Shang, S.; Lee, Z.; Lin, G.; Hu, C.; Shi, L.; Zhang, Y.; Li, X.; Wu, J.; Yan, J. Sensing an intense phytoplankton bloom in the western Taiwan Strait from radiometric measurements on a UAV. *Remote Sens. Environ.* 2017, 198, 85–94.
33. Kwon, Y.S.; Pyo, J.; Kwon, Y.-H.; Duan, H.; Cho, K.H.; Park, Y. Drone-based hyperspectral remote sensing of cyanobacteria using vertical cumulative pigment concentration in a deep reservoir. *Remote Sens. Environ.* 2020, 236, 416.
34. Hsu, W.-L.; Chang, K.-T. Cross-estimation of soil moisture using thermal infrared images with different resolutions. *Sensors and Materials.* 2019, 31, 387.
35. Dugdale, S.J.; Kelleher, C.A.; Malcolm, I.A.; Caldwell, S.; Hannah, D.M. Assessing the potential of drone-based thermal infrared imaging for quantifying river temperature heterogeneity. *Hydrol. Process.* 2019, 33, 1152–1163.
36. Soil Moisture Mapping. Available online: <https://bst.aero/soil-moisture-mapping/> (accessed on 22 September 2025).
37. Acharya, B.S.; Bhandari, M.; Bandini, F.; Pizarro, A.; Perks, M. et al. Unmanned aerial vehicles in hydrology and water management: Applications, challenges, and perspectives. *Water Resour. Res.* 2021, 57, e2021WR029925.
38. Velez-Nicolás, M.; García-López, S.; Barbero, L.; Ruiz-Ortiz, V.; Sánchez-Bellón, A. Applications of unmanned aerial systems (UASs) in hydrology: a review. *Remote Sens.* 2021, 13, 1359.
39. Sibanda, M.; Mutanga, O.; Chimonyo, V.G.P.; Clulow, A.D.; Shoko, C.; Mazvimavi, D.; Dube, T.; Mabhaudhi, T. Application of drone technologies in surface water resources monitoring and assessment: a systematic review of progress, challenges, and opportunities in the Global South. *Drones.* 2021, 5, 84.
40. Flener, C.; Vaaja, M.; Jaakkola, A.; Krooks, A.; Kaartinen, H.; Kukko, A.; Kasvi, E.; Hyypä, H.; Hyypä, J.; Alho, P. Seamless mapping of river channels at high resolution using mobile lidar and UAV-photography. *Remote Sens.* 2013, 5, 6382–6407.
41. Gentile, V.; Mróz, M.; Spitoni, M.; Lejot, J.; Piégay, H.; Demarchi, L. Bathymetric mapping of shallow rivers with UAV hyperspectral data. In *Proceedings of the Fifth International Conference on Telecommunications and Remote Sensing*, Milan, Italy, 2016, 43–49.
42. Legleiter, C.J.; McDonald, R.R.; Nelson, J.M.; Kinzel, P.J.; Perroy, R.L.; Baek, D.; Seo, I.W. Remote sensing of tracer dye concentrations to support dispersion studies in river channels. *J. Ecohydraulics.* 2019, 4, 131–146.
43. Woodget, A.S.; Carbonneau, P.E.; Visser, F.; Maddock, I.P. Quantifying submerged fluvial topography using hyperspatial resolution UAS imagery and structure from motion photogrammetry. *Earth Surf. Proc. Land.* 2014, 40(1), 47–64.
44. Dietrich, J.T. Bathymetric structure-from-motion: extracting shallow stream bathymetry from multi-view stereo photogrammetry. *Earth Surface Proc. Land.* 2017, 42, 355–364.
45. Carrivick, J.L.; Smith, M.W. Fluvial and aquatic applications of structure from motion photogrammetry and unmanned aerial vehicle/drone technology. *Wiley Interdiscip. Rev. Water.* 2019, 6, e1328.
46. Partama, I.Y.; Kanno, A.; Ueda, M.; Akamatsu, Y.; Inui, R.; Sekine, M.; Yamamoto, K.; Imai, T.; Higuchi, T. Removal of watersurface reflection effects with a temporal minimum filter for UAV-based shallow-water photogrammetry. *Earth Surf. Process. Land.* 2018, 43, 2673–2682.
47. Mandlbürger, G.; Pfennigbauer, M.; Schwarz, R.; Flory, S.; Nussbaumer, L. Concept and performance evaluation of a novel UAV borne topo-bathymetric lidar sensor. *Remote Sensing.* 2020, 12, 986.
48. Kinzel, P.J.; Legleiter, C.J. sUAS-based remote sensing of river discharge using thermal particle image velocimetry and bathymetric lidar. *Remote Sens.* 2019, 11, 2317.
49. Melcher, N.B.; Costa, J.E.; Haeni, F.P.; Cheng, R.T.; Thurman, E.M.; Buursink, M. et al. River discharge measurements by using helicopter-mounted radar. *Geophys. Res. Lett.* 2002, 29, 41–44.
50. Bandini, F.; Olesen, D.; Jakobsen, J.; Kittel, C.M.M.; Wang, S.; Garcia, M.; Bauer-Gottwein, P. Technical note: bathymetry observations of inland water bodies using a tethered single-beam sonar controlled by an unmanned aerial vehicle. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2018, 22, 4165–4181.
51. Álvarez, L.V.; Moreno, H.A.; Segales, A.R.; Pham, T.G.; Pillar-Little, E.A.; Chilson, P.B. Merging unmanned aerial systems (UAS) imagery and echo soundings with an adaptive sampling technique for bathymetric surveys. *Remote Sens.* 2018, 10, 1362.
52. Bogatov, V.V.; Fedorovsky, A.S. Fundamentals of river hydrology and hydrobiology. *Dalnauka: Vladivostok, Russia.* 2017; 388 p. (In Russian)
53. Ridolfi, E.; Manciola, P. Water level measurements from drones: a pilot case study at a dam site. *Water.* 2018, 10, 297.
54. Niedzielski, T.; Witek, M.; Spallek, W. Observing river stages using unmanned aerial vehicles. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2016, 20, 3193–3205.
55. Gao, A.; Wu, S.; Wang, F.; Wu, X.; Xu, P.; Yu, L.; Zhu, S. A newly developed unmanned aerial vehicle (UAV) imagery-based technology for field measurement of water level. *Water.* 2019, 11, 124.
56. Bandini, F.; Butts, M.; Jacobsen, T.V.; Bauer-Gottwein, P. Water level observations from unmanned aerial vehicles for improving estimates of surface water-groundwater interaction. *Hydrol. Process.* 2017, 31, 4371–4383.

57. Bandini, F.; Sunding, T.P.; Linde, J.; Smith, O.; Jensen, I.K.; Köppl, C.J.; Butts, M.; Bauer-Gottwein, P. Unmanned aerial system (UAS) observations of water surface elevation in a small stream: comparison of radar altimetry, lidar and photogrammetry techniques. *Remote Sens. Environ.* 2020, 237, 111487.
58. Jiang, L.; Bandini, F.; Smith, O.; Jensen, I.K.; Bauer-Gottwein, P. The value of distributed high-resolution UAV-borne observations of water surface elevation for river management and hydrodynamic modeling. *Remote Sens.* 2020, 12, 1171.
59. Le Coz, J.; Hauet, A.; Pierrefeu, G.; Dramais, G.; Camenen, B. Performance of image-based velocimetry (LSPIV) applied to flashflood discharge measurements in mediterranean rivers. *Journal of Hydrology.* 2010, 394, 42–52.
60. Welber, M.; Le Coz, J.; Laronne, J.B.; Zolezzi, G.; Zamler, D.; Dramais, G.; Hauet, A.; Salvaro, M. Field assessment of noncontact stream gauging using portable surface velocity radars (SVR). *Water Resour. Res.* 2016, 52(2), 1108–1126.
61. Moramarco, T.; Singh, V.P. Formulation of the entropy parameter based on hydraulic and geometric characteristics of river cross sections. *J. Hydraulic Eng.* 2010, 15, 852–858.
62. Flowmeters for free-flow channels SOMMER RQ-30 и SOMMER RG-30. 2024. Available online: <https://allpribors.ru/opisanie/59861-15-sommer-rq-30-i-sommer-rg-30-71904>. (accessed on 22 September 2025). (In Russian)
63. Fulton, J.; Anderson, I.; Chiu, C.-L.; Sommer, W.; Adams, J.; Moramarco, T.; Bjerklie, D.; Fulford, J.; Sloan, J.; Best, H. et al. QCam: sUAS-based doppler radar for measuring river discharge. *Remote Sens.* 2020, 12, 3317.
64. Raffel, M.; Willert, C.E.; Scarano, F.; Kahler, C.J.; Wereley, S.T.; Kompenhans, J. Particle image velocimetry: a practical guide. Springer, 2018; 670 p.
65. Fujita, I.; Muste, M.; Kruger, A. Large-scale particle image velocimetry for flow analysis in hydraulic engineering applications. *J. Hydraulic Res.* 1998, 36, 397–414.
66. Muste, M.; Fujita, I.; Hauet, A. Large-scale particle image velocimetry for measurements in riverine environments. *Water Resour. Res.* 2008, 44, W00D14.
67. Fujita, I.; Watanabe, H.; Tsubaki, R. Development of a nonintrusive and efficient flow monitoring technique: the space–time image velocimetry (STIV). *Int. J. River Basin Manag.* 2007, 5, 105–114.
68. Perks, M.T.; Russell, A.J.; Large, A.R.G. Technical note: advances in flash flood monitoring using unmanned aerial vehicles (UAVs). *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2016, 20, 4005–4015.
69. Perks, M.T. KLT-IV v1.0: Image velocimetry software for use with fixed and mobile platforms. *Geoscientific Model Development.* 2020, 13, 6111–6130.
70. Leitão, J.P.; Peña-Haro, S.; Lüthi, B.; Scheidegger, A.; de Vitry, M.M. Urban overland runoff velocity measurement with consumer-grade surveillance cameras and surface structure image velocimetry. *J. Hydrol.* 2018, 565, 791–804.
71. Barron, J.L.; Fleet, D.J.; Beauchemin, S.S. Performance of optical flow techniques. *Int. J. Comput. Vis.* 1994, 12, 43–77.
72. Tauro, F.; Tosi, F.; Mattoccia, S.; Toth, E.; Piscopia, R.; Grimaldi, S. Optical tracking velocimetry (OTV): leveraging optical flow and trajectory-based filtering for surface streamflow observations. *Remote Sens.* 2018, 10, 2010.
73. Tauro, F.; Piscopia, R.; Grimaldi, S. Streamflow observations from cameras: large-scale particle image velocimetry or particle tracking velocimetry? *Water Resour. Res.* 2017, 53, 10374–10394.
74. Pearce, S.; Ljubičić, R.; Peña-Haro, S.; Perks, M.; Tauro, F.; Pizarro, A.; Sasso, S.F.D.; Strelnikova, D.; Grimaldi, S.; Maddock, I. et al. An evaluation of image velocimetry techniques under low flow conditions and high seeding densities using unmanned aerial systems. *Remote Sens.* 2020, 12, 232.
75. Koutalakis, P.; Tzoraki, O.; Zaimes, G. UAVs for hydrologic scopes: application of a low-cost UAV to estimate surface water velocity by using three different image-based methods. *Drones.* 2019, 3, 14.
76. Tauro, F.; Pagano, C.; Phamduy, P.; Grimaldi, S.; Porfiri, M. Large-scale particle image velocimetry from an unmanned aerial vehicle. *IEEE/ASME Trans. Mechatronics.* 2015, 20, 3269–3275.
77. Tauro, F.; Petroselli, A.; Porfiri, M.; Giandomenico, L.; Bernardi, G.; Mele, F.; Spina, D.; Grimaldi, S. A novel permanent gauge-cam station for surface-flow observations on the Tiber River. *Geosci. Instrum. Methods Data Syst.* 2016, 5, 241–251.
78. Lewis, Q.W.; Lindroth, E.M.; Rhoads, B.L. Integrating unmanned aerial systems and LSPIV for rapid, cost-effective stream gauging. *J. Hydrol.* 2018, 560, 230–246.
79. Lou, H.; Wang, P.; Yang, S.; Hao, F.; Ren, X.; Wang, Y.; Shi, L.; Wang, J.; Gong, T. Combining and comparing an unmanned aerial vehicle and multiple remote sensing satellites to calculate long-term river discharge in an ungauged water source region on the Tibetan Plateau. *Remote Sens.* 2020, 12, 2155.



Статья поступила в редакцию 28.07.2025; одобрена после рецензирования 15.10.25; принята к публикации 10.11.2025.

The article was submitted 28.07.2025; approved after reviewing 15.10.2025; accepted for publication 10.11.2025.

Лихеноиндикационная оценка загрязнения приземного воздуха западной оконечности гор Пржевальского на примере ООПТ «Тигровая падь»

Фёдор Владимирович СКИРИН
научный сотрудник
Autumn.wayfarer@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2982-1729>
Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия

Аннотация. В последние годы в связи со значительной интенсификацией процессов социально-экономического развития значительно возросла антропогенная нагрузка на лесные экосистемы, прилегающие к Владивостокско-Артемовской агломерации. В ближайшие годы ожидается резкий рост хозяйственного освоения этих территорий, однако уже сейчас степень антропогенной трансформации на многих малонарушенных участках достаточно высока. Так, в 2024 г. автором был отмечен ранее не наблюдавшийся высокий уровень угнетения эпифитных лишайников на территории ООПТ «Тигровая падь», расположенной в 3 км к северо-востоку от пос. Вольно-Надеждинское Приморского края. В связи с этим автором проведены лихеноиндикационные исследования, позволившие определить степень загрязнения приземного воздуха на данном участке. На основании полученных данных рассчитан индекс полеотолерантности. Классы полеотолерантности были дополнительно определены для 27 видов эпифитных лишайников и скорректированы для 6 видов. Для повышения точности исследования использовались сведения о жизненном состоянии и общем видовом богатстве эпифитных лишайников на пробных площадях. Для сравнения с менее нарушенными природными территориями были заложены пробные площади на условно фоновом участке в верхнем течении р. Перевозная и использованы литературные данные. Для исследованной территории построены карты, на которых указаны зоны загрязнения приземного воздуха. Исследования показали, что уровень аэрального загрязнения не только на территории ООПТ «Тигровая падь», но и на юго-западной оконечности гор Пржевальского значительно повышен и сравним с таковым для окраинных районов г. Владивосток.

Ключевые слова: лихеноиндикация, эпифитные лишайники, классы полеотолерантности, загрязнение приземного воздуха

Для цитирования: Скирин Ф.В. Лихеноиндикационная оценка загрязнения приземного воздуха западной оконечности гор Пржевальского на примере ООПТ «Тигровая падь» // Тихоокеанская география. 2026. № 1. С. 83–93. https://doi.org/10.35735/26870509_2026_25_6.

Lichen-indication assessment of ground-level air pollution at the western edge of the Przhivalsky Mountains on the example of the Tigrovaya Pad protected area

Fedor V. SKIRIN

Research associate

Autumn.wayfarer@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2982-1729>

Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

Abstract. In recent years, due to the significant intensification of socioeconomic development, the anthropogenic load on forest ecosystems adjacent to the Vladivostok-Artemovsk agglomeration has increased significantly. A sharp increase in economic development of these territories is expected in the coming years; however, the degree of anthropogenic transformation in many intact areas is already quite high. For example, in 2024, the author noted a previously unobserved high level of suppression of epiphytic lichens in the Tigrovaya Pad Protected Area, located 3 km northeast of Volno-Nadezhdinskoye Settlement in Primorsky Krai. Therefore, the author conducted lichen-indication studies to determine the degree of ground-level air pollution in this area. Based on the data obtained, a poleotolerance index was calculated. Poleotolerance classes were additionally determined for 27 epiphytic lichen species and adjusted for 6 species. To improve the accuracy of the study, data on the vital status and overall species richness of epiphytic lichens in sample plots were used. For comparison with less disturbed natural areas, sample plots were established in a conventionally reference area in the upper reaches of the Perevoznaya River, using literature data. Maps were compiled for the study area, indicating zones of ground-level air pollution. Information on the vital state and general species richness of epiphytic lichen flora allowed us to adjust the obtained result. The distribution of air pollution zones has become less mosaic. As a result, the zone of greatest air pollution includes the southwestern and central parts of the protected area, as well as a section in the northeast. The pollution level in the conventional background area is similar to that in the studied area. The results of the study has shown that the level of atmospheric impact in the territory of the “Tigrovaya Pad” protected area and in the southwestern part of the Przhivalsky Mountains is already unusually high and comparable to that in the outskirts of Vladivostok.

Keywords: lichen indication, epiphytic lichens, classes of polyotolerance, ground-level air pollution

For citation: Skirin F.V. Lichen-indication assessment of ground-level air pollution at the western edge of the Przhivalsky Mountains on the example of the Tigrovaya Pad protected area. Pacific Geography. 2026;(1):83-93. (In Russ.). https://doi.org/10.35735/26870509_2026_25_6.

Введение

ООПТ «Тигровая падь» была создана решением № 452 исполнительного комитета Приморского краевого Совета народных депутатов от 29 декабря 1989 г. и предназначена для сохранения в естественном состоянии и восстановления природного комплекса (ландшафта) [1]. Ее общая площадь составляет 500 га. С момента создания ООПТ степень хозяйственного освоения прилегающих территорий значительно возросла. Этот процесс активизировался с созданием ТОР «Надеждинская» (к настоящему моменту ТОР «Приморье») в 2016 г. и с началом строительства в границах ТОР новых жилых кварталов в 2023 г. (DNS-сити). Мониторинговые исследования на территории ООПТ не проводились с момента ее создания. Более того, они не проводились и для юго-западной оконечности гор Пржевальского. Это обширный участок, находящийся в «петле» между Владивостокско-Артемовской агломерацией на юге, Уссурийским городским округом на севере,

пос. Раздольное и землями, отведенными для города-спутника на западе, и границей Уссурийского государственного природного заповедника имени В.Л. Комарова на востоке. Антропогенное же воздействие на природные экосистемы данной территории, а также на западные участки заповедника возрастет уже в ближайшие годы, в частности из-за строительства 4-полосной автотрассы от пос. Соловей Ключ до пос. Алексеевка, проходящей через лесные массивы [2].

Настоящее исследование направлено на получение данных о современном уровне загрязнения воздуха на ООПТ «Тигровая падь» с использованием метода лишеноиндикации. Некоторые методы были актуализированы в ходе настоящего исследования. Данная работа является начальным этапом экологического мониторинга состояния природных экосистем юго-западной оконечности гор Пржевальского.

Объекты исследования

Территория ООПТ «Тигровая падь» расположена в 3 км к северо-востоку от пос. Вольно-Надеждинское в пади Тигровая и по южным склонам гор, отделяющим ее от долины р. Большая Кипарисовка. Рельеф низкогорный, с преобладающими высотами 200–250 м над ур. м. Максимальные высоты: гора Надеждинская (291 м) и 2 безымянные вершины с высотами 300 и 301 м. Склоны гор изрезаны долинами многочисленных ручьев. Лес в долине реки долинный хвойно-широколиственный, по склонам сопки и гребню водораздела дубовый с елью корейской и сосной корейской. В долине р. Тигровая Падь проложена грунтовая дорога (рис. 1).

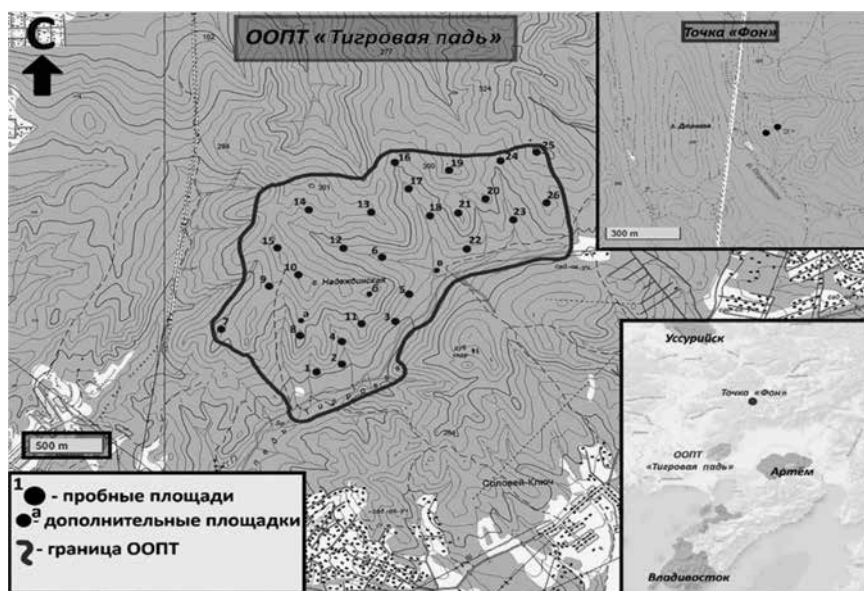


Рис. 1. Карта-схема исследуемой территории

Fig. 1. Map of the study area

Для изучаемой территории основным источником поступления поллютантов является региональный атмосферный перенос с расположенных поблизости урбанизированных территорий и автотрасс, кроме того – продуктов горения от происходящих поблизости низовых пожаров. На самой территории ООПТ следов влияния пирогенного фактора было отмечено крайне мало и всем им более трех лет [3].

Материалы и методы

Закладка пробных площадок проводилась в 2024–2025 гг. на высотах от 200 до 300 м над ур. м. на гребнях водоразделов, склонах сопок и по долинам ручьев. Пробные площади были равномерно распределены по исследованной территории.

При их размещении учитывалось влияние на лишеносинузии природных и антропогенных факторов (освещенность, влажность, тип леса, экспозиция, близость к антропогенным объектам, влияние пирогенного фактора). Кроме того, в условиях, сходных с таковыми для площадок на территории ООПТ, была заложена пробная площадь на условно фоновой территории в верхнем течении р. Перевозная, располагающейся в 9 км к востоку от пос. Алексеевка Надеждинского района.

На площадке размером 20*20 м проводился отбор от 3 до 5 деревьев с диаметром ствола более 15 см, главным образом таких пород как дуб монгольский, липы и ясени, поскольку они являются эдификаторами и имеют наиболее богатый видовой состав лишайников. На выбранных деревьях закладывались пробные лишенологические площадки 20*20 см (одна площадка со стороны с наибольшим покрытием лишайников, вторая – с противоположной). На площадке учитывался видовой состав лишайников, их проективное покрытие и жизненное состояние. Жизненное состояние (ж.с.) лишайников оценивалось по 5-балльной шкале: 1 балл (б.) – полностью погибший таллом; 2 балла – более 50 % таллома погибло; 3 балла – менее 50 % таллома погибло; 4 балла – таллом без заметных некротированных участков, но деформирован; 5 баллов – здоровый таллом. По силе антропогенное воздействие разделено на слабое долговременное (жизненность лишайников 4б.) и кратковременное (3б. – умеренное кратковременное влияние, 1–2б. – сильное кратковременное влияние) [4]. За кратковременное воздействие принимается промежуток от нескольких часов до месяца, за долговременное – более месяца. Также для выявления видового состава лишайников на территории ООПТ отбирались образцы с модельного дерева вне пробных площадок, на соседних деревьях (если попадались виды, не учтенные на выбранном форофите) и по ходу маршрута. Определение видовой принадлежности лишайников проводилось на базе ЦЛЭИ ТИГ ДВО РАН по стандартной методике [4]. На основании полученных данных для территории ООПТ был рассчитан индекс полеотолерантности Трасса ($I.P.$) [5]:

$$I.P. = \sum_{i=1}^n \frac{a_i \cdot C_i}{C_{in}},$$

где n — количество видов на площадке описания; a_i – класс полеотолерантности видов; C_i – покрытие вида; C_{in} – суммарное покрытие видов. Значения индекса изменяются от 1 (наименее нарушенные экосистемы) до 10 (наиболее нарушенные).

Классы полеотолерантности приведены по литературным источникам [5, 6] с современными уточнениями, сделанными в ходе настоящего исследования. Рассчитанный индекс $I.P.$ был дополнен данными о жизненном состоянии эпифитных лишайников. На основании результатов лишеноиндикации была построена карта загрязнения приземного воздуха. Для наиболее распространенных на территории видов был рассчитан коэффициент встречаемости (R , %), т.е. выявлена доля учетных площадок, на которых отмечен данный вид.

Также в работе использованы неопубликованные данные автора о составе и степени угнетения лишайниковых сообществ на территории Приморского края и г. Владивосток. Все они отбирались с использованием единой методики и являются сравнимыми.

Результаты и их обсуждение

На территории ООПТ «Тигровая падь» было заложено 26 пробных площадей. Отобрано около 370 образцов эпифитных лишайников, которые отнесены к 73 видам. Максимальное число видов, отмеченных на одной пробной площади, – 21, минимальное – 4 (в среднем 10 видов). По данным автора (в том числе неопубликованным), этот показатель значительно снижен не только по сравнению с условно фоновыми территориями, но и с участками, в значительной степени антропогенно-нарушенными (табл. 1).

Таблица 1

Число видов эпифитных лишайников на пробной площади
Table 1. The number of epiphytic lichen species in the sample area

Пробная площадь	Число видов эпифитных лишайников
Б. Чухуненко, Лазовский МО	57
Б. Чумакова, п-ов Муравьев-Амурский	45
Р-н пос. Сиреневка, Надеждинский МО	30
Р. Перевозная, Надеждинский МО (“фон”)	22
ООПТ Тигровая падь, Надеждинский МО	21
ж/д станция Садгород, п-ов Муравьев-Амурский	20

Лишайники, отмеченные на исследуемой территории, разделены на группы по устойчивости к антропогенному воздействию. Устойчивость определялась с помощью выявления класса полеотолерантности (a_i) для каждого вида. По данному показателю эпифитные лишайники разделяются на 10 классов, где 1 – класс наиболее чувствительных к загрязнению видов, 10 – наиболее устойчивых. Для Приморского края классы были рассчитаны для 100 видов, образцы которых были собраны в период с 1984 по 2004 г. [5, 7]. В ходе настоящей работы на основании данных, полученных в период с 2010 по 2025 г., для части видов классы были скорректированы (6 видов), а для некоторых видов были рассчитаны впервые для Дальнего Востока РФ (27 видов) (табл. 2).

Таблица 2

Классы полеотолерантности (a_i) для эпифитных лишайников на исследованной территории
Table 2. Polyotolerance classes (a_i) for epiphytic lichens in the studied area

Вид лишайников	a_i	Вид лишайников	a_i
<i>Acrocordia gemmata</i>	3	<i>Lepraria elobata</i>	7
<i>Anzia calpota</i> Vain.	3	<i>Lepraria finkii</i>	5
<i>Anzia stenophylla</i>	3	<i>Lepraria jackii</i>	7
<i>Bacidia biatorina</i>	3	<i>Lepraria</i> sp.	8
<i>Bacidia circumspecta</i>	2	<i>Leptogium burnetiae</i>	3
<i>Bacidia friesiana</i>	5	<i>Leptogium cyanescens</i>	5
<i>Bacidia propinqua</i>	4	<i>Leptogium tremelloides</i>	3
<i>Bacidia rosella</i>	2	<i>Lobaria quercizans</i>	2
<i>Bacidina</i> sp.	2	<i>Mychtomia gordejevii</i>	7
<i>Biatora chrysantha</i> (Zahlbr.)	7	<i>Myelochroa aurulenta</i>	7
<i>Biatora fallax</i>	4	<i>Myelochroa enthotheiochroa</i>	5
<i>Biatora subduplex</i>	6	<i>Myelochroa galbina</i>	3
<i>Biatora vernalis</i> (L.)	6	<i>Myelochroa leucotyliza</i>	6
<i>Candelaria concolor</i>	7	<i>Myelochroa subaurulenta</i> (Nyl.) Elix & Hale	7
<i>Carbonicola anthracophylla</i>	8	<i>Naetrocymbe punctiformis</i>	5
<i>Cetrelia</i> sp.	5	<i>Ochrolechia parella</i>	3
<i>Cf. Loxospora elatina</i>	2	<i>Ochrolechia yasudae</i>	2
<i>Cf. Schismatomma pericleum</i>	7	<i>Oxneriopsis oxneri</i>	5
<i>Chrysothrix candelaris</i>	8	<i>Parmelia fertilis</i>	5
<i>Chrysothrix chlorina</i>	4	<i>Parmotrema austrosinense</i>	3

Вид лишайников	a_i	Вид лишайников	a_i
<i>Coenogonium luteum</i>	5	<i>Parvoplaca suspiciosa</i>	7
<i>Collema subflaccidum</i>	3	<i>Pertusaria leioplaca</i>	2
<i>Cresponea chloroconia</i>	3	<i>Pertusaria pertusa</i>	2
<i>Flavoparmelia caperata</i>	5	<i>Phaeophyscia hirtuosa</i>	8
<i>Glaucomaria leptyroides</i>	4	<i>Phaeophyscia hispidula</i> (Ach.)	6
<i>Graphis elegans</i>	3	<i>Phaeophyscia squarrosa</i>	3
<i>Graphis rikuzensis</i>	3	<i>Physciella denigrata</i>	3
<i>Graphis scripta</i>	3	<i>Physciella melanchra</i>	9
<i>Heterodermia hypoleuca</i>	4	<i>Physconia grummosa</i>	6
<i>Heterodermia microphylla</i> (Kurok.)	2	<i>Punctelia ruderata</i>	5
<i>Heterodermia obscurata</i>	4	<i>Punctelia subrudecta</i>	4
<i>Kurokawia isidiata</i>	4	<i>Pyrenula fetivica</i>	2
<i>Kurokawia palmulata</i>	4	<i>Pyrenula mamillana</i>	2
<i>Lecanora allophana</i> (Ach.) Röhl.	8	<i>Pyrenula septicoloris</i>	2
<i>Lecanora chlorotera</i>	6	<i>Pyxine sibirica</i>	5
<i>Lecanora pachycheila</i> (Zahlbr.)	5	<i>Pyxine soredata</i>	5
<i>Lecanora pulcaris</i>	6	<i>Rinodina ascociscana</i>	4
<i>Lecanora scrupulosa</i>	2	<i>Rinodina dolichospora</i>	9
<i>Lecanora septentrionalis</i>	6	<i>Rinodina</i> sp.	5
<i>Lecanora subrugosa</i>	4	<i>Rinodina subalbida</i>	4
<i>Lecanora symmicta</i>	8	<i>Rinodina subminuta</i>	9
<i>Lecidella euphorea</i>	7	<i>Segestria carpinea</i>	3
<i>Lepra ophthalmiza</i>	2	<i>Swinscowia stigmatella</i>	2
<i>Lepraria alpina</i>	5	<i>Tephromella atra</i>	5

На основании данных классов все выявленные виды эпифитных лишайников были разделены на группы по устойчивости к антропогенному воздействию: устойчивые (A_i 7–10), среднеустойчивые (A_i – 4–6) и чувствительные (A_i – 1–3).

Заметную долю в лишайнофлоре изучаемой территории составляют виды с высокой устойчивостью и выдерживающие достаточно серьезное загрязнение приземного воздуха (18 видов, или 24.7 % от общего числа эпифитов). Часть этих видов также является наиболее распространенной на рассматриваемой территории. Так, для *Biatora chrysantha* коэффициент встречаемости (R) составляет 69.2 %, для *Lecanora allophana* – 57.7 %. Эти виды вместе с *Biatora vernalis*, *Lecidella euphorea*, *Michtomia gordejevii*, *Myelochroa aurulenta*, *M. subaurulenta* и некоторыми другими составляют основу лишайнофлоры городов Приморского края, в частности г. Владивосток. Одним из наиболее устойчивых к загрязнению эпифитных лишайников Приморского края является *Physciella melanchra* [5]. Видов со средней устойчивостью к атмосферному загрязнению выявлено 32, или 43.8 %. Это виды, играющие значительную роль в составе природных малонарушенных сообществ, но выдерживающие уровень антропогенного воздействия, характерный для значительно трансформированных ландшафтов (городские пригороды, окраины сельскохозяйственных угодий). Часть этих видов также имеет высокую встречаемость в ООПТ (например, *Lecanora pachycheila* – 53.8 %), а *Phaeophyscia hispidula* является самым распространенным видом на исследованной территории (R–70.1 %). Эпифитные лишайники, чувствительные к антропогенному воздействию, насчитывают 23 вида (31.5 %). Они произрастают прежде всего в природных сообществах, подверженных слабому антропогенному воздействию (горные леса Сихотэ-Алиня и т.д.). Несмотря на сравнительно большое число видов в данной группе, стоит учитывать, что эти лишайники представлены единичными образцами, сохранившимися только на отдельных деревьях с подходящими микроусловиями. Для лишайников микроусловия, в пределах микрофации (отдельная группа валунов на склоне, отдельное дерево и т.д.) часто важнее макроусловий [4]. Это позволяет отдельным образцам чувствительных видов сохраняться даже на значительно трансформированной

территории. Наиболее распространенными видами этой группы в ООПТ являются *Lepa ophthalmiza* и *Graphis rikuzensis*, имеющие частоту встречаемости 30.8 %.

Таким образом, основу лишенофлоры исследованной территории составляет группа видов с высокой и средней устойчивостью к загрязнению приземного воздуха, из них 5 видов с Ai 7–10 (*Lecanora allophana*, *Biatora chrysantha*, *Myelochroa aurulenta*, *M. subaurulenta*, *Physciella melanchra*) и 4 вида с Ai 4–6 (*Biatora vernalis*, *Lecanora pachycheila*, *Phaeopphyscia hispidula*, *P. squarrosa*). Остальные обнаруженные виды эпифитных лишайников являются сопутствующими и характеризуются низкой встречаемостью ($R < 30\%$).

На условно фоновой пробной площади видовой состав и видовое богатство эпифитных лишайников мало отличаются от таковых на территории ООПТ. Здесь отмечено 22 вида эпифитов, среди которых преобладают лишайники со средней и низкой устойчивостью к загрязнению приземного воздуха. Практически все лишайники встречены в 1–2 экземплярах. Среди видов, отмеченных больше одного раза, два являются устойчивыми к загрязнению (Ai 7), один среднеустойчивый (Ai 5) и четыре чувствительных (Ai 2–3).

Также стоит учесть жизненное состояние обнаруженных лишайников (табл. 3).

Таблица 3

Доля лишайников с различным жизненным состоянием на исследуемой территории

Table. 3. The proportion of lichens with different life states in the studied area

Жизненное состояние лишайников (баллы)	Доля в ООПТ (%)	Доля на условно фоновой точке (%)
5б	35.5	75
4б	40.4	12.5
3б	14	12.5
2б	7	0
1б	3	0

Преобладание видов с жизненным состоянием 4б говорит о слабом долговременном антропогенном влиянии на исследуемые лишайниковые сообщества. Значительный процент эпифитов с жизненным состоянием 3б и 2–1б может говорить о повышении антропогенной нагрузки в последние несколько лет. При этом низкой жизненностью отличаются не только виды, чувствительные к загрязнению воздуха, такие как *Parmotrema austrosinense*, *Punctelia rudrata*, *Ochrolechia parella* и т.д., но и виды средне- и высокоустойчивые к антропогенному влиянию, такие как *Myelochroa aurulenta* и *Lecanora allophana*. Более того, отмечаются образцы *Physciella melanchra*, одного из наиболее устойчивых видов на Дальнем Востоке РФ, с жизненным состоянием 2б, хотя и единично.

На условно фоновой пробной площади преобладают лишайники с жизненным состоянием 5б (75 %). Также отмечены лишайники с жизненностью 4 и 3б – по 12.5 %. Снижение жизненности характерно как для видов с низкой (*Bacidia biatorina*), так и с высокой устойчивостью к загрязнению (*Tephromella atra*). В целом для данной пробной площади характерно крайне малое число лишайников на всех субстратах. На большей части древесных стволов их не выявлено совсем, на многих отмечаются пятна от уже погибших талломов.

В результате проведенных расчетов для территории ООПТ «Тигровая падь» выделено 4 зоны с различной степенью загрязнения приземного воздуха (табл. 4, рис. 2).

Таблица 4

Зоны по степени загрязнения приземного воздуха

Table. 4. Zones by degree of ground-level air pollution

Зоны по степени загрязнения воздуха	Значения I.P.
1 – слабого загрязнения	1.9–3.0
2 – умеренного загрязнения	3.1–4.0
3 – повышенного загрязнения	4.1–5.0
4 – сильного загрязнения	>5.0

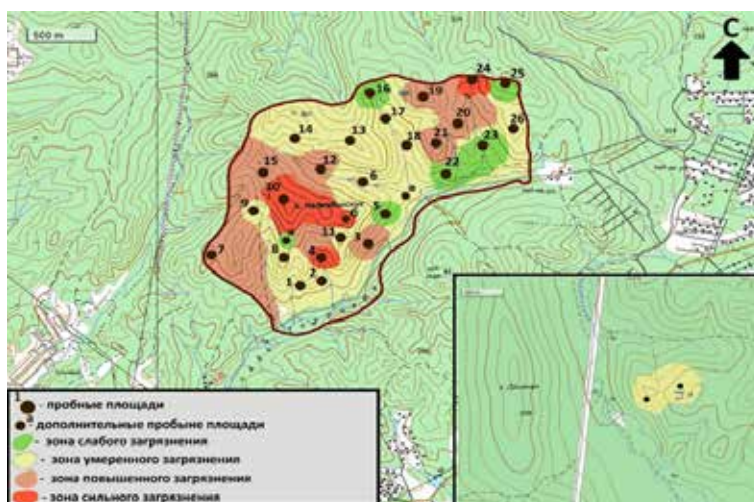


Рис. 2. Зоны загрязненности приземного воздуха, выделенные на основании индекса I.P.

Fig. 2. Ground-level air pollution zones identified based on the I.P. index only

Индекс полеотолерантности, кроме индивидуальной устойчивости отдельных видов лишайников к загрязнению приземного воздуха, учитывает общее проективное покрытие лишайников на лишеноиндикационной площадке и индивидуальное покрытие каждого отдельного вида. Однако при его расчете общее обилие лишайников и доля устойчивых и чувствительных видов на всей пробной площадке, а также жизненное состояние не учитываются. Учет данных параметров позволяет несколько скорректировать получаемый результат. Для снижения степени субъективности примем, что каждый из вышеупомянутых параметров может добавить либо отнять 0.5 от значения I.P. Например, для пробной площадки 20 значение I.P. составило 4.1, что относило ее к третьей зоне загрязнения. Учитываем, что данная пробная площадка имеет наибольшее видовое богатство из всех исследованных (I.P.–0.5) и на ней при этом преобладают лишайники с низкой и средней устойчивостью к антропогенному воздействию (I.P.–0.5). Преобладающее жизненное состояние – 5б (54.6 % образцов), но высока доля лишайников с ж.с. 4б и 3б. Такая ситуация с ж.с. в среднем характерна для всех пробных площадей (I.P.+0). Таким образом, итоговое значение I.P. составит 3.1, что позволит перевести участок во вторую зону загрязнения (рис. 3).

В результате данной корректировки все участки, относившиеся к первой зоне загрязнения, были переведены во вторую. Вместе с тем во вторую зону были перенесены три площадки из третьей. В составе площадок, отнесенных к четвертой зоне загрязнения, произошло значительно меньше изменений, только одна была перенесена в эту категорию (№ 26, ранее относившаяся ко второй зоне). В целом при таком варианте лишеноиндикационного картирования зоны загрязнения стали располагаться более равномерно, хотя в их распределении и сохраняется некоторая мозаичность, что часто характерно для природных территорий с расчлененным рельефом [8].

Проведенное картирование показывает, что большая часть исследуемой территории относится ко второй зоне загрязнения. Наиболее подвержены антропогенному воздействию участки, расположенные в юго-западной части ООПТ (3-я и 4-я зоны). Главным образом это вершина горы Надеждинская и ее южные отроги, обращенные в сторону поселков Вольно-Надеждинское и Ключевой. Эта вершина перехватывает значительную часть приземных воздушных масс, переносимых в падь Тигровая южными ветрами, господствующими на юге Приморья в летний период [9, 10]. Также к 4-й зоне загрязнения относятся два участка на крайней северо-восточной оконечности исследуемой территории.

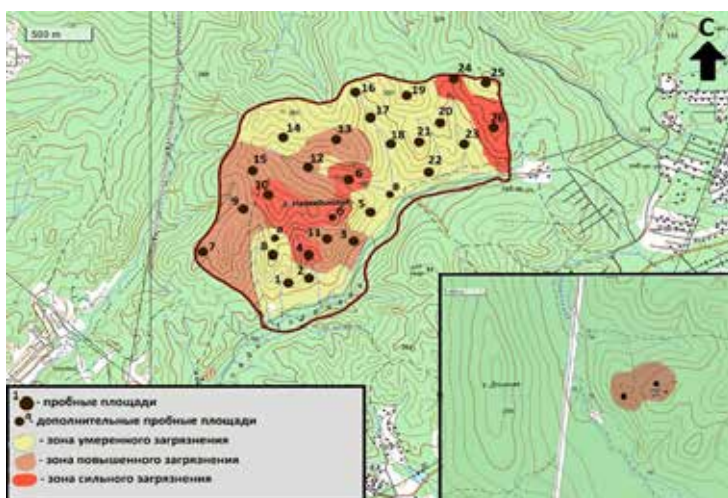


Рис. 3. Зоны загрязненности приземного воздуха с учетом дополнительных параметров

Fig. 3. Zones of ground-level air pollution taking into account additional parameters

Площадка, выбранная в качестве «фоновой» в начале исследования, также оказалась в зоне значительного загрязнения атмосферного воздуха (3-я зона), несмотря на то что она расположена в верхнем течении р. Перевозная, на удалении от автодорог, поселков и других непосредственных источников антропогенного воздействия.

Заклучение и выводы

Исследования показали, что степень загрязнения приземного воздуха на рассматриваемой территории оказалась значительно выше предполагаемой и сравнима с таковой не только для пригородов г. Владивосток, но и для городской территории. Так, на площадках, заложенных на севере п-ова Муравьев-Амурский, на горе Природный Пуп коэффициент I.P. составил 3.3; для площадок, расположенных вокруг городского полигона ТБО в пригороде г. Владивосток, значения I.P. изменяются от 3.2 до 5.3 (2–4-я зоны загрязнения). Непосредственно на городской территории (улицы Кирова, Русская, Гамарника) эти значения составляли 4.7–5.3 (3, 4-я зоны) [11]. Степень нарушенности лишайниковых сообществ на площадках, считавшихся условно фоновыми, также очень высока и соответствует 3-й зоне загрязнения. Из этого можно заключить, что такая высокая степень загрязнения приземного воздуха может быть характерна для всей юго-западной части гор Пржевальского, вплоть до западных границ Уссурийского заповедника. В связи с этим целесообразным будет проведение дополнительных исследований для выяснения степени нарушенности этих территорий, выявления основных источников антропогенного воздействия и мониторинга состояния лесных экосистем.

Благодарности. Работа выполнена по теме государственного задания «Инерционность и динамика равноранговых территориальных аква-территориальных и трансграничных структур природопользования Тихоокеанской России, выявление детерминант и векторов их развития, стадий и вариантов трансформации в рамках моделей устойчивого природопользования в Северо-Восточной Азии». (FWMW-2025-0002).

Acknowledgments. The work was carried out on the topic of the state assignment “Inertia and dynamics of multi-rank territorial aqua-territorial and transboundary structures of natural resources management in Pacific Russia; identification of determinants and vectors of its development, stages and options for transformation within the framework of natural resources management models in Northeast Asia”. (FWMW-2025-0002).

Литература

1. Решение Приморского краевого совета народных депутатов от 29.12.1989 № 452 «Об отнесении уникальных и типичных природных объектов к государственным памятникам природы Приморского края». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://web.archive.org/web/20190521182356/http://oopt.aari.ru/doc/Решение-исполнительного-комитета-Приморского-краевого-Совета-народных-депутатов-от-29121989-№452> (Дата обращения: 09.06.2025).
2. На Соловей-Ключе начинают вырубку леса под новую дорогу, для которой еще нет проекта. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.newsvl.ru/society/2025/06/03/232022/> (Дата обращения: 06.06.2025).
3. Сухомлинова В. В. Методы оценки пирогенного воздействия на фитоценозы и ландшафты. Все о Российских лесах – 2021. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://forest.ru/articles/metody-otsenki-pirogennogo-vozdeystviya-na-fitotsenozy-i-landshafty/> (Дата обращения: 06.06.2025).
4. Флора лишайников России. Биология, экология, разнообразие, распространение и методы изучения лишайников. М.: СПб.: Т-во науч. изданий КМК, 2014. 392 с.
5. Скирина И.Ф., Коженкова С.И., Родникова И.М. Эпифитные лишайники Приморского края и использование их в экологическом мониторинге. Владивосток: Дальнаука, 2010. 150 с.
6. Трасс Х.Х. Классы полеотолерантности лишайников и экологический мониторинг // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Л.: Гидрометиздат, 1985. Т. 7. С. 122–137.
7. Родникова И.М., Скирина И.Ф., Христофорова Н.К. Оценка воздушной среды в Лазовском заповеднике (Приморский край) методами лишайноиндикации // Ботанический журнал. 1998. Т. 83, № 5. С. 48–56.
8. Пярн А., Трасс Х., Цобель К. Лишайноиндикация степени загрязненности приземного воздуха в Прибайкалье // Биогеохимические аспекты криптоиндикации: Тезисы докладов Симпозиума по биоиндикации Всесоюзной конференции «Биогеохимический круговорот веществ», г. Пушино Московской обл., 7–9 декабря 1982 г. Таллин: Таллинский ботанический сад, 1982. С. 37–38.
9. Урусов В.М. Экологю о природном комплексе района Владивостока (учебное пособие). Владивосток: ВГУЭС, 2002. 86 с.
10. Мезенцева Л.И., Федулов А.С. Климатические тенденции атмосферной циркуляции на Дальнем Востоке // Известия КГТУ. 2017. № 46. С. 175–184.
11. Скирин Ф.В. Скирина И.Ф. Оценка динамики эпифитной лишайнофлоры в г. Владивосток в период с 1971 по 2020 годы с использованием метода лишайноиндикации (предварительные данные) // Геосистемы Северо-Восточной Азии: природные, природно-ресурсные, социальные и хозяйственные структуры территорий. Владивосток: ТИГ ДВО РАН, 2022. С. 136–140. DOI: 10.35735/9785604701171_136.

References

1. Primorsky Krai Council of Public Deputies. Decision of December 29 1989 № 452 “On the classification of unique and typical natural objects as state natural monuments of Primorsky Krai”. Available online: <https://web.archive.org/web/20190521182356/http://oopt.aari.ru/doc/Решение-исполнительного-го-комитета-Приморского-краевого-Совета-народных-депутатов-от-29121989-№452> (accessed on 09 June 2025). (In Russian)
2. At Solovey-Klyuch, they are starting to cut down the forest for a new road, for which there is no project yet. Available online: <https://www.newsvl.ru/society/2025/06/03/232022/>. (accessed on 06 June 2025). (In Russian)
3. Sukhomlinova V.V. Methods for assessing pyrogenic impact on phytocenoses and landscapes. Forest.ru. All about Russian forests. 2021, Available online: <https://forest.ru/articles/metody-otsenki-pirogennogo-vozdeystviya-na-fitotsenozy-i-landshafty/> (accessed on: 06 June 2025) (In Russian)
4. The lichen flora of Russia. Biology, ecology, diversity, distribution and methods to study lichens. KMK Scientific Press: Moscow; St. Petersburg, Russia, 2014; 392 p. (In Russian)
5. Skirina, I.F.; Kozhenkova, S.I.; Rodnikova, I.M. Epiphytic lichens of Primorsky Krai and their use in environmental monitoring. Dalnauka: Vladivostok, Russia, 2010; 150 p. (In Russian)
6. Trass, H.H. Lichen polyotolerance classes and ecological monitoring. In *Problems of environmental monitoring and ecosystem modeling*. 1985, Vol. 7, 122–137. (In Russian)
7. Rodnikova, I.M.; Skirina, I.F.; Christophorova N.K. Assessment of the air environment in the Lazovsky Reserve (Primorsky Krai) using lichen indication methods. *Botanical Journal*. 1998, 83(5), 48–56. (In Russian)
8. Pyarn, A.; Trass, H.; Tsobel, K. Lichen indication of the degree of ground air pollution in the Baikal region. In *Biogeochemical aspects of cryptoindication*. Proceedings of the symposium on bioindication of the All-Union conference “Biogeochemical circulation of substances” Pushchino, Moscow Region, December 7-9, 1982. Tallinn Botanical Garden: Tallinn, Estonian SSR, 1982, 37–38. (In Russian)
9. Urusov, V.M. For an ecologist about the natural complex of the Vladivostok region (study guide). VSUES: Vladivostok, Russia 2002; 86 p. (In Russian)
10. Mezentseva, L.I.; Fedulov, A.S. Climate trends of atmospheric circulation in the Far East. *Izvestia KSTU*. 2017, 46, 175–184. (In Russian)

11. Skirin, F.V.; Skirina, I.F. Evaluation of the dynamics of epiphytic lichen flora in Vladivostok from 1971 to 2020 using the lichen indication method (preliminary data). In *Geosystems of North-East Asia: natural, natural-resource, social and economic structures of territories*. Pacific Geographical Institute FEB RAS: Vladivostok, Russia. 2022, 136–140. DOI: 10.35735/9785604701171_136.

Статья поступила в редакцию 20.06.2025; одобрена после рецензирования 30.09.25; принята к публикации 15.10.2025.

The article was submitted 20.06.2025; approved after reviewing 30.09.2025; accepted for publication 15.10.2025.



Стойкие органические загрязняющие вещества и программа Mussel Watch в Азиатско-Тихоокеанском регионе: краткий обзор

Александра Дмитриевна БОРОВКОВА¹
младший научный сотрудник
borovkovasdm@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0007-3285-822X>

Максим Михайлович ДОНЕЦ¹
младший научный сотрудник
maksim.donecz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2108-4448>

Максим Андреевич БЕЛАНОВ¹
младший научный сотрудник
belanov.ma@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0974-9176>

Кристина Руслановна МАСАЛЕВА¹
младший научный сотрудник
masaleva.kr@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0002-6393-8533>

Андрей Александрович ШЕСТЁРА²
студент
shestera.2017@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0001-1217-7423>

Никита Дмитриевич ВАСИЛЕНКО²
студент
skameika00@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0004-2364-4658>

Василий Юрьевич ЦЫГАНКОВ¹
доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник
tsig_90@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5095-7260>

¹Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия

²Дальневосточный федеральный университет, международная кафедра ЮНЕСКО «Морская экология» Института Мирового океана, Владивосток, Россия

Аннотация. В настоящее время большую опасность представляет все увеличивающееся загрязнение окружающей среды химическими веществами антропогенного происхождения. Одной из групп опасных для естественных экосистем соединений являются стойкие органические загрязняющие вещества, о негативном воздействии которых известно уже с 1960-х гг. Для организации глобального наблюдения за состоянием вод Мирового океана в конце XX в. запущена международная программа International Mussel Watch, основной задачей которой стал мониторинг распростра-

нения токсичных веществ с использованием двусторчатых моллюсков в качестве биоиндикаторов. В 1990-х гг. начался новый этап исследований в рамках программы, сосредоточенный на изучении циркуляции опасных поллютантов в странах Азиатско-Тихоокеанского региона. В работе представлен анализ и обобщение научных данных об уровнях СОЗ в двусторчатых моллюсках стран АТР. Результаты анализа показали, что морские акватории региона преимущественно загрязнены хлорорганическими пестицидами (ХОП), среди которых доминировали ДДТ и его метаболиты. Наиболее высокие концентрации токсикантов среди исследуемых районов зафиксированы в Китае, Таиланде и Индонезии. Согласно результатам большинства исследований отмечается преобладание форм распада исходного пестицида (ДДЕ и ДДД), что указывает на длительную циркуляцию ксенобиотиков в среде и отсутствие «свежего загрязнения». Анализ распределения полихлорированных бифенилов (ПХБ) выявил неравномерность их распределения, при этом полученные данные не подтвердили первоначальные гипотезы о преимущественном загрязнении промышленно развитых стран, что свидетельствует о сложной динамике переноса и накопления опасных соединений в различных регионах мира и необходимости продолжения мониторинговых исследований уровней поллютантов в акваториях стран АТР.

Ключевые слова: СОЗ, ХОП, ПХБ, двусторчатые моллюски, Asia-Pacific Mussel Watch Program

Для цитирования: Боровкова А.Д., Донец М.М., Беланов М.А., Масалева К.Р., Шестёра А.А., Василенко Н.Д., Цыганков В.Ю. Стойкие органические загрязняющие вещества и программа Mussel Watch в Азиатско-Тихоокеанском регионе: краткий обзор // Тихоокеанская география. 2026. № 1. С. 93–104. https://doi.org/10.35735/26870509_2026_25_7.

Original article

Persistent organic pollutants and the Mussel Watch Program in the Asia-Pacific Region: a brief review

Aleksandra D. BOROVKOVA¹

Junior research

borovkovasdm@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0007-3285-822X>

Maksim M. DONETS¹

Junior research

maksim.donecz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2108-4448>

Maksim A. BELANOV¹

Junior research

belanov.ma@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0974-9176>

Kristina R. MASALEVA¹

Junior research

masaleva.kr@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0002-6393-8533>

Andrey A. SHESTERA²

Student

shestera.2017@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0001-1217-7423>

Nikita D. VASILENKO²

Student

skameika00@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0004-2364-4658>

Vasily Yu. TSYGANKOV¹
Doctor of Biological Sciences, Leader research
tsig_90@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5095-7260>

¹Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

²Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

Abstract. Currently, one of the most pressing environmental threats is the increasing pollution caused by anthropogenic chemical compounds, xenobiotics. Among the most hazardous groups of pollutants for natural ecosystems are persistent organic pollutants (POPs), whose detrimental effects have been recognized since the 1960s. To address the need for global monitoring of ocean pollution, the International Mussel Watch Program was launched in the late 20th century. This initiative uses bivalve mollusks as bioindicators to track the spread of toxic substances in marine environments. In the 1990s, a new phase of research under this program began, focusing specifically on the distribution and circulation of hazardous pollutants in the Asia-Pacific region (APR). This paper presents an analysis and summary of scientific data on POP levels in bivalve mollusks from the APR. The findings indicate that the region is predominantly contaminated with organochlorine pesticides (OCPs), particularly DDT and its metabolites. The highest concentrations of DDT were recorded in China, Thailand, and Indonesia. Interestingly, most studies show a prevalence of degraded forms of DDT (DDE and DDD), suggesting long-term environmental persistence rather than recent contamination. This pattern implies that the original pesticide has undergone extensive breakdown over time. However, some researchers still detect metabolites indicative of recent pollution, pointing to possible ongoing local sources of xenobiotic release. The analysis of polychlorinated biphenyls (PCBs) revealed an uneven distribution across the APR. Contrary to initial hypotheses, the data did not confirm that industrialized nations were the primary contributors to PCB contamination. This unexpected finding highlights the complex dynamics of pollutant transport and accumulation, which are influenced by ocean currents, atmospheric deposition, and regional industrial practices. The persistence of these pollutants in marine ecosystems underscores the need for continued monitoring under programs like International Mussel Watch. Given the ecological and health risks associated with POPs, further research is essential to assess contamination trends, identify emerging sources, and develop mitigation strategies. The Asia-Pacific region, with its diverse industrial and agricultural activities, remains a critical area for such environmental surveillance.

Keywords: POPs, OCPs, PCBs, Bivalvia, Asia-Pacific Mussel Watch Program

For citation: Borovkova A.D., Donets M.M., Belanov M.A., Masaleva K.R., Shestera A.A., Vasilenko N.D., Tsygankov V.Yu. Persistent organic pollutants and the Mussel Watch Program in the Asia-Pacific Region: a brief review. *Pacific Geography*. 2026;(1):94-104. (In Russ.). https://doi.org/10.35735/2687050_9_2026_25_7.

Введение

Ключевой проблемой остается загрязнение Мирового океана, требующее постоянного мониторинга. Среди наиболее опасных поллютантов — стойкие органические загрязняющие вещества (СОЗ), обладающие высокой токсичностью, способностью накапливаться в организмах и переноситься на большие расстояния [1]. Даже в малых концентрациях они нарушают работу нервной, эндокринной и других систем, а при длительном воздействии могут проявлять мутагенные и тератогенные свойства [2, 3].

Водные экосистемы особенно уязвимы: СОЗ попадают в них через сточные воды и атмосферные осадки, далее накапливаются в морях и океанах. Из-за медленного разложения они циркулируют между водой, донными отложениями и воздухом, угнетая гидробионты и снижая способность экосистем к самоочищению [4]. Для мониторинга загрязнения с 1990-х гг. действует программа Mussel Watch, использующая двустворчатых моллюсков как биоиндикаторы. Исследования охватили Америку, Азиатско-Тихоокеанский регион (АТР) и тропические зоны стран АСЕАН [5].

К настоящему времени опубликовано значительное количество работ, посвященных изучению содержания СОЗ в различных компонентах экосистем стран АТР. Однако по-

следний подробный обзор данных о накоплении ксенобиотиков в морских беспозвоночных этого региона проводился в 2007 г. [6]. В связи с этим целью работы является анализ и обобщение научных данных об уровнях содержания стойких органических загрязнителей в мягких тканях двусторчатых моллюсков в рамках программы Asia-Pacific Mussel Watch (1997–2024 гг.).

Стойкие органические загрязняющие вещества: свойства, источники, распространение

Стойкие органические загрязняющие вещества – группа химических соединений антропогенного происхождения, характеризующихся высокой токсичностью, летучестью, биоаккумуляцией и биотрансформацией [7, 8]. Наиболее распространенными СОЗ являются хлорорганические пестициды, которые широко применялись в сельском и лесном хозяйстве для борьбы с вредителями, а также в санитарно-эпидемиологических целях для уничтожения переносчиков малярии (например, ДДТ и его метаболиты, изомеры ГХЦГ). Другой значимой группой выступают полихлорированные бифенилы (ПХБ), использовавшиеся в производстве пластмасс, красителей, копировальной бумаги и в качестве диэлектриков в электрооборудовании (см. рис.) [1].

К настоящему времени детально исследованы физико-химические свойства СОЗ, их миграционные пути, распространение в экосистемах, а также негативное воздействие на живые организмы [1, 2, 6, 9, 10]. Основными источниками поступления СОЗ в окружающую среду являются энергетический сектор (тепловые и электростанции, бытовые печи), промышленность (химические производства, цементные заводы, переработка алюминия), утилизация отходов (мусоросжигательные заводы, свалки), сельское хозяйство (применение пестицидов), транспорт и строительство (снос зданий, ремонт оборудования), медицина (медицинские отходы) [11, 12].

В 2001 г. в Швеции была принята Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях (СОЗ), которая начала действовать с 17 мая 2004 г. Участники конвенции взяли на себя обязательства полностью запретить производство и применение (с некоторыми исключениями) 12 опасных химических веществ из перечня СОЗ, который далее дополнялся. К 2024 г. к соглашению присоединились 152 государства [13]. В АТР в период с 2004 по 2011 г. документ ратифицировали все страны, за исключением Брунея и Малайзии.

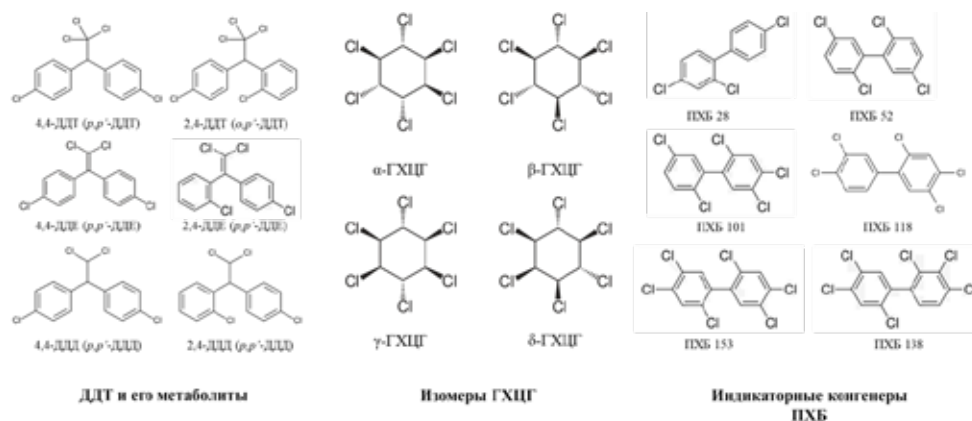


Рис. Структурные формулы хлорорганических пестицидов (ДДТ и его метаболиты, изомеры ГХЦГ) и полихлорированных бифенилов (индикаторные конгенеры ПХБ)

Fig. The structural formulas of organochlorine pesticides (DDT and its metabolites, HCH isomers) and polychlorinated biphenyls (indicator PCB congeners).

Двустворчатые моллюски как индикаторы загрязнения морских экосистем СОЗ

Среди морских беспозвоночных двустворчатые моллюски представляют особый интерес благодаря их высокой чувствительности к воздействию разных ксенобиотиков [14] и используются для мониторинга загрязнения прибрежных акваторий. Как представители бентосной фауны, они ведут малоподвижный или прикрепленный образ жизни, что позволяет оценить уровни локального загрязнения. Эти организмы широко распространены по всему миру, занимают экологические ниши практически во всех известных местообитаниях [15], характеризуются длительным жизненным циклом, высокой экологической пластичностью [16].

Использование двустворчатых моллюсков для индикации загрязнения, в том числе стойкими органическими загрязняющими веществами, началось еще в прошлом столетии. Так, в исследовании 1976 г., посвященном мониторингу галогенированных углеводородов на побережье Калифорнии, авторы определяли содержание ДДТ и его метаболитов и ПХБ в мягких тканях мидии *Mytilus californianus* [17]. В Бразилии в 1985–1986 гг. проведено определение уровней ДДТ и ПХБ в семи видах двустворчатых моллюсков разных экологических групп [18]. В 1990-е гг. со стартом программы International Mussel Watch возрос и интерес к использованию двустворчатых моллюсков как индикаторов загрязнения морских акваторий ксенобиотиками [19–22].

По сравнению с рыбами и ракообразными двустворчатые моллюски обладают очень низким уровнем активности ферментных систем, способных метаболизировать стойкие органические загрязняющие вещества. Следовательно, концентрация токсикантов в тканях пластинчатожаберных более точно отражает степень загрязнения окружающей среды [23]. Таким образом, двустворчатые моллюски являются одними из наиболее точных индикаторов загрязнения прибрежных акваторий органическими токсикантами благодаря их уникальным характеристикам, таким как прикрепленный и малоподвижный образ жизни и массовость. Кроме того, регулярный мониторинг содержания СОЗ в мягких тканях двустворчатых моллюсков позволит отслеживать временные тренды накопления ксенобиотиков в естественных экосистемах.

Реализация программы Mussel Watch в Азиатско-Тихоокеанском регионе с 2002 по 2024 г.

Первые систематические исследования накопления СОЗ в тканях двустворчатых моллюсков были начаты в 1990-х гг. В работах Li [6], Monirith et al. [24] и Tanabe et al. [25] выявлено значительное загрязнение прибрежных акваторий Китая, Гонконга и Индии хлорорганическими пестицидами, особенно ДДТ и его метаболитами, а также изомерами ГХЦГ. Эти исследования заложили основу для последующего мониторинга в регионе. Ниже представлены данные об исследованиях в рамках программы Asia-Pacific Mussel Watch за период с 1997 по 2024 г. (см. табл.).

В Азиатско-Тихоокеанском регионе преобладает загрязнение хлорорганическими пестицидами, особенно ДДТ и его метаболитами. Наибольшие концентрации зафиксированы в Китае, Таиланде и Индонезии, что связано с историческим использованием ДДТ в сельском хозяйстве и санитарии. Преобладание продуктов распада (ДДЕ, ДДД) свидетельствует о давнем загрязнении, однако в некоторых работах отмечаются и свежие поступления, указывающие на локальные источники. В отдельных регионах (Россия, Гонконг, Макао) доминируют изомеры ГХЦГ, которые, вероятно, попадают в экосистемы за счет трансграничного переноса.

Высокие уровни ПХБ характерны для промышленно развитых стран (Япония, Южная Корея, Сингапур) из-за активного производства и судоходства. Неожиданно высокие кон-

Таблица 1

Стойкие органические загрязняющие вещества в некоторых районах Азиатско-Тихоокеанского региона

Table 1. Persistent organic pollutants in some areas of the Asia-Pacific region

Вид	Год отбора	ΣДДТ ¹	ΣГХЦГ ²	ΣСНЛs ³	ΣПХБ ⁴	ΣПАУ ⁵	С, нг/г ... ⁶	Ист.
Таиланд								
<i>Perna viridis</i>	1997–1999	5.7	5	– ⁷	–	–	сыр. массы	[26]
<i>P. viridis</i>	2006–2007	–	–	–	79–454 ⁸	–	липидов	[27]
<i>Saccostrea commercialis</i>					304–193			
Сингапур								
<i>P. viridis</i>	1999	110	12	520	90	–	липидов	[24]
	2002	–	–	–	6.1–82	–	сух. массы	[28]
Южная Корея								
<i>Mytilus edulis</i>	2005	21–400	1.1–82	2.6–62	17–1000	–	липидов	[29]
<i>Mytilus coruscus</i>	2001–2007	4.2	0.7	–	7.5	176	сух. массы	[30]
<i>M. edulis</i>								
<i>Crassostrea gigas</i>								
<i>Ruditapes philippinarum</i>	2001–2003	46	13	–	91	–	липидов	[31]
<i>M. coruscus</i>		69	11	–	118	–		
<i>M. edulis</i>	2018		31 ⁹		5.5	194	липидов	[32]
<i>C. gigas</i>								
<i>Anadara granosa</i>								
<i>Venerupis philippinarum</i>								
Индонезия								
<i>P. viridis</i>	2012–2013	20	–	–	–	20–360	сух. массы	[33]
	2017	116	–	–	–	–	сух. массы	[34]
Китай								
<i>Scapharca broughtonii</i>	2007	48	4	0.9	8.9	–	липидов	[35]
<i>Panopea japonica</i>		108	40	1.6	7.9	–		
<i>P. viridis</i>	2016	807	–	–	–	–	липидов	[36]
Гонконг								
<i>P. viridis</i>	1998–1999	640–61000	2.1–29	10–860	40–710	–	липидов	[24]
<i>M. meretrix</i>	2018	<ПО ¹⁰	37	–	–	–	липидов	[37]
<i>Anadara subcrenata</i>								
<i>P. viridis</i>								
Вьетнам								
<i>Meretrix lyrata</i>	2024	2.9–4.1	2.6–3.3	–	5.4–28	–	сыр. массы	[38]
<i>P. viridis</i>		1.1–39	1.3–11	–	5.8–26	–		
<i>A. granosa</i>		2.4–8	2.2–5.9	–	4.6–20	–		
<i>Atrina pectinata</i>		1.2–16	3.4–8.8	–	29–63	–		
<i>C. gigas</i>		1.2–27	1.9–3.2	–	10–45	–		
Япония								
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	2011–2014	33–62	–	77–130	210–480	–	липидов	[39]
<i>Saccostrea mordax</i>	2017–2019	18–1400	–	13–5800	21–4100	–	липидов	[40]
<i>Phreagena okutanii</i>	2020	–	–	–	14–36	–	липидов	[41]

¹Сумма о,р'-ДДТ, р,р'-ДДТ, о,р'-ДДЕ, р,р'-ДДЕ, о,р'-ДДД, р,р'-ДДД; ²Сумма α-ГХЦГ, β-ГХЦГ, γ-ГХЦГ, δ-ГХЦГ; ³Сумма транс-хлордана, цис-хлордана, транс-нонахлора, цис-нонахлора и оксихлордана; ⁴Сумма индикаторных конгенов ПХБ; ⁵Сумма 16 индикаторных ПАУ; ⁶Единицы измерения концентрации; ⁷Нет данных; ⁸Диапазон средних концентраций; ⁹Сумма изомеров ГХЦГ, ДДТ и его метаболитов, гексахлорбензола, гептахлора, хлордана, 24 короткоцепочечных хлорированных парафинов; ¹⁰Ниже пределов обнаружения.

центрации также обнаружены в Таиланде и Вьетнаме, что может быть связано с особенностями накопления токсикантов у разных видов моллюсков.

В целом наблюдается снижение уровней СОЗ в регионе, что, вероятно, связано с отказом все большего количества стран от использования и производства ксенобиотиков. Однако в Индонезии фиксируется рост концентраций ХОП, в том числе исследования показывают присутствие форм, свидетельствующих о недавнем поступлении поллютантов в среду.

Данные по многим странам (Лаос, Мьянма, Бруней) отсутствуют, а в Таиланде, Сингапуре, Малайзии и на Филиппинах мониторинг не проводился десятилетиями. Это затрудняет оценку динамики загрязнения и подчеркивает необходимость продолжения исследований.

Многолетние исследования в России [4, 42, 43] выявили устойчивое присутствие стойких органических загрязнителей в моллюсках дальневосточных морей. В тканях *Crenomytilus grayanus* и *Mizuhopecten yessoensis* обнаружены ДДТ и его метаболиты (преимущественно *p,p'*-ДДЕ и *p,p'*-ДДД), изомеры ГХЦГ (с доминированием β -формы) и значительные количества ПХБ. Хотя преобладание продуктов распада свидетельствует о давнем загрязнении, обнаружение свежего ДДТ в 2000 г. указывает на возможные нарушения запрета. Последние данные программы Mussel Watch [43] показывают снижение ДДТ и ПХБ при одновременном росте ГХЦГ, что связано с историческим использованием линдана в регионе. Эти результаты подчеркивают необходимость продолжения мониторинговых исследований загрязнения прибрежных акваторий дальневосточных морей России СОЗ.

Заключение

Анализ данных свидетельствует о продолжающемся загрязнении морских акваторий Азиатско-Тихоокеанского региона стойкими органическими загрязняющими веществами. Тем не менее в последние годы в ряде стран наблюдается снижение концентраций токсикантов благодаря предпринимаемым государствами мерам по прекращению или ограничению использования СОЗ в медицинских и сельскохозяйственных целях. Наибольшие концентрации ДДТ зафиксированы в Китае, Индии и Таиланде, в России и Гонконге преобладают ГХЦГ, вероятно, за счет явления трансграничного переноса. В промышленно развитых странах, таких как Япония и Южная Корея, наиболее характерно загрязнение ПХБ, их сравнительно высокие уровни также обнаружены в Таиланде и Вьетнаме, что, возможно, связано с особенностями накопления токсикантов разными видами моллюсков. Преобладание продуктов распада указывает на давний характер загрязнения, но необходимость регулярного мониторинга сохраняется, поскольку моллюски являются важным промысловым ресурсом, а их потребление может создавать долгосрочные риски для здоровья населения.

Литература

1. Tsygankov V.Yu. Persistent Organic Pollutants in the Ecosystems of the North Pacific. Earth and Environmental Sciences Library. Springer Nature Switzerland, Cham., 2023. 348 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-44896-6>
2. Kaiser J., Enserink M. Treaty Takes a POP at the Dirty Dozen // Science. 2000. Vol. 290, N 5499. P. 2053. [10.1126/science.290.5499.20](https://doi.org/10.1126/science.290.5499.20)
3. Ngoubeyou P.S., Wolkendorfer C., Ndibewu P.P., Augustyn W. Toxicity of polychlorinated biphenyls in aquatic environments – A review // Aquatic Toxicology, 2022. Vol. 251, N 251. 106284. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2022.106284>
4. Боярова М.Д., Лукьянова О.Н. Хлорированные углеводороды в гидробионтах залива Посёта Японского моря // Известия ТИНРО, 2006. Т. 145. С. 271–278.
5. Tanabe S. Asia-Pacific Mussel Watch Progress Report // Marine Pollution Bulletin. 2000. Vol. 40, N 8. P. 651. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(00\)00019-9](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(00)00019-9)

6. Li A. Persistent organic pollutants in Asia: sources, distributions, transport and fate // *Developments in environmental science*, Elsevier, 2007. 825 p.
7. Tsygankov V.Yu., Boyarova M.D., Kiku P.F., Yarygina M.V. Hexachlorocyclohexane (HCH) in human blood in the south of the Russian Far East // *Environmental Science and Pollution Research*. 2015. Vol. 22, N 18. P. 14379–14382. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4951-3>
8. Tsygankov V.Yu., Lukyanova O.N., Khristoforova N.K. The Sea of Okhotsk and the Bering Sea as the region of natural aquaculture: Organochlorine pesticides in Pacific salmon // *Marine Pollution Bulletin*. 2016. Vol. 113, N 1–2. P. 69–74. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.08.060>
9. Mamontova E.A., Tarasova E.N., Goreglyad A.V., Tkachenko L.L., Mamontov A.A., Kuzmin M.I. Polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in atmospheric air of the Northern Hovsgol region in 2008–2013 // *Doklady Earth Sciences*. 2015. Vol. 264, N 2. P. 1066–1068. <https://doi.org/10.1134/S1028334X15100153>
10. El-Shahawi M.S., Hamza A., Bashammakh A.S., Al-Saggaf W.T. An overview on the accumulation, distribution, transformations, toxicity and analytical methods for the monitoring of persistent organic pollutants // *Talanta*. 2010. Vol. 80, N 5. P. 1587–1597. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2009.09.055>
11. Wenzl T., Simon R., Anklam E., Kleiner J. Analytical methods for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in food and the environment needed for new food legislation in the European Union // *TrAC*. 2006. Vol. 25, N 3. P. 716–725. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2006.05.010>
12. Xing Y., Lu Y., Dawson R., Shi Y., Zhang H., Wang T., Liu W., Ren H. A spatial temporal assessment of pollution from PCBs in China // *Chemosphere*. 2005. Vol. 60, N 6. P. 731–739. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.05.001>
13. Status of ratifications of the Stockholm Convention [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://chm.pops.int/Countries/StatusofRatifications/PartiesandSignatoires/tabid/4500/Default.aspx> (Дата обращения: 04.05.2025).
14. Gouveia N., Harayashiki C., Márquez F., Lourenço R., Taniguchi S., Castro I. Mollusc shell shape as pollution biomarkers: Which is the best biological model? // *Marine Pollution Bulletin*. 2022. Vol. 179. 113663. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113663>
15. Castro I. Improper environmental sampling design bias assessments of coastal contamination // *TrAC*. 2019. Vol. 24. e00068. <https://doi.org/10.1016/j.teac.2019.e00068>
16. Chahouri A., Yacoubi B., Moukrim A., Banaoui A. Bivalve molluscs as bioindicators of multiple stressors in the marine environment: Recent advances // *Continental Shelf Research*. 2023. Vol. 264. 105056. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2023.105056>
17. Young D.R., Heesen T.C., McDermott D.J. An offshore biomonitoring system for chlorinated hydrocarbons // *Marine Pollution Bulletin*. 1976. Vol. 7, N 8. P. 156–159. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(76\)90134-X](https://doi.org/10.1016/0025-326X(76)90134-X)
18. Tavares T.M., Rocha V.C., Porte C., Barceló D., Albaigés J. Application of the mussel watch concept in studies of hydrocarbons, PCBs and DDT in the Brazilian Bay of Todos os Santos (Bahia) // *Marine Pollution Bulletin*. 1988. Vol. 19, N 11. P. 575–578. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(88\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0025-326X(88)90022-7)
19. Picer M., Picer N. Levels and long-term trends of polychlorinated biphenyls and DDTs in bivalves collected from the south Adriatic coastal waters // *Chemosphere*. 1995. Vol. 30, N 1. P. 31–38. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(94\)00374-4](https://doi.org/10.1016/0045-6535(94)00374-4)
20. Lee K.M., Kruse H., Wassermann O. The pattern of organochlorines in mussels *Mytilus edulis* L. from the south west Baltic Sea // *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 1996. Vol. 31, N 1. P. 68–76. <https://doi.org/10.1007/BF00203909>
21. Sbriz L., Aquino M.R., Alberto De Rodriguez N.M., Fowler S.W., Sericano J.L. Levels of chlorinated hydrocarbons and trace metals in bivalves and nearshore sediments from the Dominican Republic // *Marine Pollution Bulletin*. 1998. Vol. 36, N 12. P. 971–979. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(98\)00097-6](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(98)00097-6)
22. Thompson S., Budzinski H., Garrigues P., Narbonne J.F. Comparison of PCB and DDT Distribution between Water-column and Sediment-dwelling Bivalves in Arcachon Bay, France // *Marine Pollution Bulletin*. 1999. Vol. 38, N 8. P. 655–662. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(98\)90197-7](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(98)90197-7)
23. Walker C.H. *Organic Pollutants: An Ecotoxicological Perspective*, Second Edition // CRC Press, 2008, N 2. 408 p. <https://doi.org/10.1201/9781420062595>
24. Monirith I., Ueno D., Takahashi S., Nakata H., Sudaryanto A., Subramanian A., Karuppiah S., Ismail A., Mughtar M., Zheng J., Richardson B.J., Prudente M., Hue N., Tana T.S., Tkalin A.V., Tanabe S. Asia-Pacific mussel watch: monitoring contamination of persistent organochlorine compounds in coastal waters of Asian countries // *Marine Pollution Bulletin*. 2003. Vol. 46, N 3. P. 281–300. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00400-9](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00400-9)
25. Tanabe S., Prudente M.S., Kan-aitreklap S., Subramanian A. Mussel watch: marine pollution monitoring of butyltins and organochlorines in coastal waters of Thailand, Philippines and India // *Ocean & Coastal Management*. 2000. Vol. 43, N 8–9. P. 819–839. [https://doi.org/10.1016/S0964-5691\(00\)00060-0](https://doi.org/10.1016/S0964-5691(00)00060-0)
26. Boonyatumanond R., Jaksakul A., Pancharoen P., Tabucanon M.S. Monitoring of organochlorine pesticides residues in green mussels (*Perna viridis*) from the coastal area of Thailand // *Environmental Pollution*, 2002. Vol. 119, N 2. P. 245–252. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00329-3](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00329-3)
27. Jaikanlaya C., Settachan D., Denison M., Ruchirawat M., Van Den Berg M. PCBs contamination in seafood species at the Eastern Coast of Thailand // *Chemosphere*. 2009. Vol. 76, N 2. P. 239–249. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.03.018>
28. Obbard J.P., Wurl O., Bayen S. Chapter 15 Persistent Organic Pollutants in Singapore's Marine Environment // *Developments in Environmental Science*, Elsevier. 2007. Vol. 7. P. 657–720. [https://doi.org/10.1016/S1474-8177\(07\)07015-5](https://doi.org/10.1016/S1474-8177(07)07015-5)

29. Ramu K., Kajiwara N., Isobe T., Takahashi S., Kim E., Min B., We S., Tanabe S. Spatial distribution and accumulation of brominated flame retardants, polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in blue mussels (*Mytilus edulis*) from coastal waters of Korea // *Environmental Pollution*. 2007. Vol. 148, N 2. P. 562–569. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.11.034>
30. Choi H., Moon H., Choi M., Yu J., Kim S. Mussel watch program for organic contaminants along the Korean coast. 2001–2007 // *Environ Monit Assess*. 2010. Vol. 169, N 1–4. P. 473–485. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1190-4>
31. Choi J., Yang D., Hong G., Kim K., Shin K. Ecological and human health risk from polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in bivalves of Cheonsu Bay, Korea // *Environmental Engineering Research*. 2016. Vol. 21, N 4. P. 373–383. <https://doi.org/10.4491/eer.2016.010>
32. Choo G., Choi S., Lee I., Oh J. Nationwide monitoring of legacy and emerging persistent organic pollutants and polycyclic aromatic hydrocarbons along the Korean coast // *Marine Pollution Bulletin*. 2024. Vol. 206. 116764. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116764>
33. Dwiyitno, Dsikowitzky L., Nordhaus I., Andarwulan N., Irianto H., Lioe H., Ariyani F., Kleinertz S., Schwarzbauer J. Accumulation patterns of lipophilic organic contaminants in surface sediments and in economic important mussel and fish species from Jakarta Bay, Indonesia // *Marine Pollution Bulletin*. 2016. Vol. 110, N 2. P. 767–777. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.034>
34. Suryono C.A., Sabdono A., Subagyo Setyati W.A., Rochaddi B., Suryono Susilo E.S., Mahendrajaya R.T. The presence of organochlorine pesticide in Semarang Indonesia marine waters and their contamination on green mussel *Prna viridis* (*Bivalvia: Mytilidae, Linnaeus, 1758*) // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 246. 012069. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/246/1/012069>
35. Byun G., Moon H., Choi J., Hwang J., Kang C. Biomagnification of persistent chlorinated and brominated contaminants in food web components of the Yellow Sea // *Marine Pollution Bulletin*. 2013. Vol. 73, N 1. P. 210–219. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.05.017>
36. Sun R., Yu J., Liao Y., Chen J., Wu Z., Mai B. Geographical distribution and risk assessment of dichlorodiphenyltrichloroethane and its metabolites in *Perna viridis* mussels from the northern coast of the South China Sea // *Marine Pollution Bulletin*. 2020. Vol. 151. 110819. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110819>
37. Ivorra L., Cardoso P., Chan S., Cruzeiro C., Tagulao K. Quantification of insecticides in commercial seafood sold in East Asian markets: risk assessment for consumers // *Environmental Science and Pollution Research*. 2022. Vol. 30, N 12. P. 34585–34597. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24413-7>
38. Thuy N., Tham T., Thuy T., Yen N., Giang D., Ha N., Anh H., Minh T. Persistent organochlorine pollutants in different bivalve species from central Vietnamese coasts: Concentrations, profiles, and biota-sediment accumulation factors // *Marine Pollution Bulletin*. 2024. Vol. 209. 117097. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117097>
39. Ishiyama M., Matsuo Y., Nakai K., Tatsuta N., Nakata H., Mizukawa H., Miyawaki T., Nagasaka H., Someya T., Ueno D. Temporal trends in PCB concentrations in mussels collected from areas affected by the Great East Japan Earthquake and Tsunami // *Marine Pollution Bulletin*. 2019. Vol. 145. P. 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.05.031>
40. Mukai Y., Goto A., Tashiro Y., Tanabe S., Kunisue T. Coastal biomonitoring survey on persistent organic pollutants using oysters (*Saccostrea mordax*) from Okinawa, Japan: Geographical distribution and polystyrene foam as a potential source of hexabromocyclododecanes // *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 739. 140049. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140049>
41. Ikuta T., Nomaki H., Nakajima R. Accumulation of polychlorinated biphenyls in the ovaries of deep-sea chemosynthetic clam *Phreagena okutanii* // *Front. Mar. Sci*. 2024. Vol. 11. 1358774. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1358774>
42. Tkalin A.V., Lishavskaya T.S., Hills J.W. Organochlorine Pesticides in Mussels and Bottom Sediments from Peter the Great Bay near Vladivostok // *Ocean and Polar Research*. 1997. Vol. 19. P. 115–119.
43. Borovkova A.D., Gavrilova V.A., Donets M.M., Belanov M.A., Tsygankov V.Yu. Mussel watch program in the Sea of Japan: Persistent organic pollutants in bivalves of the family Mytilidae // *Marine Pollution Bulletin*. 2024. Vol. 209. 117107. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117107>

References

1. Tsygankov, V.Yu. Persistent Organic Pollutants in the Ecosystems of the North Pacific. Springer Nature Switzerland: Cham, Switzerland, 2023; 348 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-44896-6>
2. Kaiser, J.; Enserink, M. Treaty Takes a POP at the Dirty Dozen. *Science*. 2000, 290(5499), 2053. <https://doi.org/10.1126/science.290.5499.2053>
3. Ngoubeyou, P.S.; Wolkersdorfer, C.; Ndibewu, P.P.; Augustyn, W. Toxicity of Polychlorinated Biphenyls in Aquatic Environments – A Review. *Aquatic Toxicology*. 2022, 251, 106284. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2022.106284>
4. Boyarova, M.D.; Lukyanova, O.N. Chlorinated Hydrocarbons in Hydrobionts of the Posyet Bay (Sea of Japan). *Izvestiya TINRO*. 2006, 145, 271–278. (In Russian)
5. Tanabe, S. Asia-Pacific Mussel Watch Progress Report. *Marine Pollution Bulletin*. 2000, 40(8), 651. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(00\)00019-9](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(00)00019-9)

6. Li, A. Persistent Organic Pollutants in Asia: Sources, Distributions, Transport and Fate. Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2007; 825 p.
7. Tsygankov, V.Yu.; Boyarova, M.D.; Kiku, P.F.; Yarygina, M.V. Hexachlorocyclohexane (HCH) in Human Blood in the South of the Russian Far East. *Environmental Science and Pollution Research*. 2015, 22(18), 14379–14382. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4951-3>
8. Tsygankov, V.Yu.; Lukyanova, O.N.; Khristoforova, N.K. The Sea of Okhotsk and the Bering Sea as the Region of Natural Aquaculture: Organochlorine Pesticides in Pacific Salmon. *Marine Pollution Bulletin*. 2016, 113(1–2), 69–74. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.08.060>
9. Mamontova, E.A.; Tarasova, E.N.; Goreglyad, A.V.; Tkachenko, L.L.; Mamontov, A.A.; Kuzmin, M.I. Polychlorinated Biphenyls and Organochlorine Pesticides in Atmospheric Air of the Northern Hovsgol Region in 2008–2013. *Doklady Earth Sciences*. 2015, 264(2), 1066–1068. <https://doi.org/10.1134/S1028334X15100153>
10. El-Shahawi, M.S.; Hamza, A.; Bashammakh, A.S.; Al-Saggaf, W.T. An Overview on the Accumulation, Distribution, Transformations, Toxicity and Analytical Methods for the Monitoring of Persistent Organic Pollutants. *Talanta*. 2010, 80(5), 1587–1597. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2009.09.055>
11. Wenzl, T.; Simon, R.; Anklam, E.; Kleiner, J. Analytical Methods for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Food and the Environment Needed for New Food Legislation in the European Union. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2006, 25(3), 716–725. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2006.05.010>
12. Xing, Y.; Lu, Y.; Dawson, R.; Shi, Y.; Zhang, H.; Wang, T.; Liu, W.; Ren, H. A Spatial Temporal Assessment of Pollution from PCBs in China. *Chemosphere*. 2005, 60(6), 731–739. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.05.001>
13. Status of Ratifications of the Stockholm Convention. Available online: <https://chm.pops.int/Countries/StatusofRatifications/PartiesandSignatoires/tabid/4500/Default.aspx> (accessed on 4 May 2025).
14. Gouveia, N.; Harayashiki, C.; Márquez, F.; Lourenço, R.; Taniguchi, S.; Castro, I. Mollusc Shell Shape as Pollution Biomarkers: Which Is the Best Biological Model? *Marine Pollution Bulletin*. 2022, 179, 113663. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113663>
15. Castro, I. Improper Environmental Sampling Design Bias Assessments of Coastal Contamination. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2019, 24, e00068. <https://doi.org/10.1016/j.teac.2019.e00068>
16. Chahouri, A.; Yacoubi, B.; Moukrim, A.; Banaoui, A. Bivalve Molluscs as Bioindicators of Multiple Stressors in the Marine Environment: Recent Advances. *Continental Shelf Research*. 2023, 264, 105056. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2023.105056>
17. Young, D.R.; Heesen, T.C.; McDermott, D.J. An Offshore Biomonitoring System for Chlorinated Hydrocarbons. *Marine Pollution Bulletin*. 1976, 7(8), 156–159. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(76\)90134-X](https://doi.org/10.1016/0025-326X(76)90134-X)
18. Tavares, T.M.; Rocha, V.C.; Porte, C.; Barceló, D.; Albaigés, J. Application of the Mussel Watch Concept in Studies of Hydrocarbons, PCBs and DDT in the Brazilian Bay of Todos os Santos (Bahia). *Marine Pollution Bulletin*. 1988, 19(11), 575–578. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(88\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0025-326X(88)90022-7)
19. Picer, M.; Picer, N. Levels and Long-Term Trends of Polychlorinated Biphenyls and DDTs in Bivalves Collected from the South Adriatic Coastal Waters. *Chemosphere*. 1995, 30(1), 31–38. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(94\)00374-4](https://doi.org/10.1016/0045-6535(94)00374-4)
20. Lee, K.M.; Kruse, H.; Wassermann, O. The Pattern of Organochlorines in Mussels *Mytilus edulis* L. from the South West Baltic Sea. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 1996, 31(1), 68–76. <https://doi.org/10.1007/BF00203909>
21. Sbriz, L.; Aquino, M.R.; Alberto De Rodriguez, N.M.; Fowler, S.W.; Sericano, J.L. Levels of Chlorinated Hydrocarbons and Trace Metals in Bivalves and Nearshore Sediments from the Dominican Republic. *Marine Pollution Bulletin*. 1998, 36(12), 971–979. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(98\)00097-6](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(98)00097-6)
22. Thompson, S.; Budzinski, H.; Garrigues, P.; Narbonne, J.F. Comparison of PCB and DDT Distribution between Water-Column and Sediment-Dwelling Bivalves in Arcachon Bay, France. *Marine Pollution Bulletin*. 1999, 38(8), 655–662. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(98\)90197-7](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(98)90197-7)
23. Walker, C.H. Organic Pollutants: An Ecotoxicological Perspective, 2nd ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2008; 408 p. <https://doi.org/10.1201/9781420062595>
24. Monirith, I.; Ueno, D.; Takahashi, S.; Nakata, H.; Sudaryanto, A.; Subramanian, A.; Karuppiyah, S.; Ismail, A.; Mughtar, M.; Zheng, J. et al. Asia-Pacific Mussel Watch: Monitoring Contamination of Persistent Organochlorine Compounds in Coastal Waters of Asian Countries. *Marine Pollution Bulletin*. 2003, 46(3), 281–300. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00400-9](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00400-9)
25. Tanabe, S.; Prudente, M.S.; Kan-atireklap, S.; Subramanian, A. Mussel Watch: Marine Pollution Monitoring of Butyltins and Organochlorines in Coastal Waters of Thailand, Philippines and India. *Ocean & Coastal Management*. 2000, 43(8–9), 819–839. [https://doi.org/10.1016/S0964-5691\(00\)00060-0](https://doi.org/10.1016/S0964-5691(00)00060-0)
26. Boonyatumanond, R.; Jaksakul, A.; Pancharoen, P.; Tabucanon, M.S. Monitoring of Organochlorine Pesticides Residues in Green Mussels (*Perna viridis*) from the Coastal Area of Thailand. *Environmental Pollution*. 2002, 119(2), 245–252. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00329-3](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00329-3)
27. Jaikanlaya, C.; Settachan, D.; Denison, M.; Ruchirawat, M.; Van Den Berg, M. PCBs Contamination in Seafood Species at the Eastern Coast of Thailand. *Chemosphere*. 2009, 76(2), 239–249. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.03.018>
28. Obbard, J.P.; Wurl, O.; Bayen, S. Persistent Organic Pollutants in Singapore's Marine Environment. In *Developments in Environmental Science*. Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2007; 7, 657–720. [https://doi.org/10.1016/S1474-8177\(07\)07015-5](https://doi.org/10.1016/S1474-8177(07)07015-5)

29. Ramu, K.; Kajiwara, N.; Isobe, T.; Takahashi, S.; Kim, E.; Min, B.; We, S.; Tanabe, S. Spatial Distribution and Accumulation of Brominated Flame Retardants, Polychlorinated Biphenyls and Organochlorine Pesticides in Blue Mussels (*Mytilus edulis*) from Coastal Waters of Korea. *Environmental Pollution*. 2007, 148(2), 562–569. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.11.034>
30. Choi, H.; Moon, H.; Choi, M.; Yu, J.; Kim, S. Mussel Watch Program for Organic Contaminants along the Korean Coast, 2001–2007. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2010, 169(1–4), 473–485. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1190-4>
31. Choi, J.; Yang, D.; Hong, G.; Kim, K.; Shin, K. Ecological and Human Health Risk from Polychlorinated Biphenyls and Organochlorine Pesticides in Bivalves of Cheonsu Bay, Korea. *Environmental Engineering Research*. 2016, 21(4), 373–383. <https://doi.org/10.4491/eer.2016.010>
32. Choo, G.; Choi, S.; Lee, I.; Oh, J. Nationwide Monitoring of Legacy and Emerging Persistent Organic Pollutants and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons along the Korean Coast. *Marine Pollution Bulletin*. 2024, 206, 116764. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116764>
33. Dwiyitno; Dsikowitzky, L.; Nordhaus, I.; Andarwulan, N.; Irianto, H.; Lioe, H.; Ariyani, F.; Kleinertz, S.; Schwarzbauer, J. Accumulation Patterns of Lipophilic Organic Contaminants in Surface Sediments and in Economic Important Mussel and Fish Species from Jakarta Bay, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*. 2016, 110(2), 767–777. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.034>
34. Suryono, C.A.; Sabdono, A.; Subagyo; Setyati, W.A.; Rochaddi, B.; Suryono; Susilo, E.S.; Mahendrajaya, R.T. The Presence of Organochlorine Pesticide in Semarang Indonesia Marine Waters and Their Contamination on Green Mussel *Perna viridis* (*Bivalvia: Mytilidae, Linnaeus, 1758*). In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019, 246, 012069. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/246/1/012069>
35. Byun, G.; Moon, H.; Choi, J.; Hwang, J.; Kang, C. Biomagnification of Persistent Chlorinated and Brominated Contaminants in Food Web Components of the Yellow Sea. *Marine Pollution Bulletin*. 2013, 73(1), 210–219. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.05.017>
36. Sun, R.; Yu, J.; Liao, Y.; Chen, J.; Wu, Z.; Mai, B. Geographical Distribution and Risk Assessment of Dichlorodiphenyltrichloroethane and Its Metabolites in *Perna viridis* Mussels from the Northern Coast of the South China Sea. *Marine Pollution Bulletin*. 2020, 151, 110819. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110819>
37. Ivorra, L.; Cardoso, P.; Chan, S.; Cruzeiro, C.; Tagulao, K. Quantification of Insecticides in Commercial Seafood Sold in East Asian Markets: Risk Assessment for Consumers. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022, 30(12), 34585–34597. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24413-7>
38. Thuy, N.; Tham, T.; Thuy, T.; Yen, N.; Giang, D.; Ha, N.; Anh, H.; Minh, T. Persistent Organochlorine Pollutants in Different Bivalve Species from Central Vietnamese Coasts: Concentrations, Profiles, and Biota-Sediment Accumulation Factors. *Marine Pollution Bulletin*. 2024, 209, 117097. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117097>
39. Ishiyama, M.; Matsuo, Y.; Nakai, K.; Tatsuta, N.; Nakata, H.; Mizukawa, H.; Miyawaki, T.; Nagasaka, H.; Someya, T.; Ueno, D. Temporal Trends in PCB Concentrations in Mussels Collected from Areas Affected by the Great East Japan Earthquake and Tsunami. *Marine Pollution Bulletin*. 2019, 145, 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.05.031>
40. Mukai, Y.; Goto, A.; Tashiro, Y.; Tanabe, S.; Kunisue, T. Coastal Biomonitoring Survey on Persistent Organic Pollutants Using Oysters (*Saccostrea mordax*) from Okinawa, Japan: Geographical Distribution and Polystyrene Foam as a Potential Source of Hexabromocyclododecanes. *Science of The Total Environment*. 2020, 739, 140049. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140049>
41. Ikuta, T.; Nomaki, H.; Nakajima, R. Accumulation of Polychlorinated Biphenyls in the Ovaries of Deep-Sea Chemosynthetic Clam *Phreagena okutanii*. *Frontiers in Marine Science*. 2024, 11, 1358774. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1358774>
42. Tkalin, A.V.; Lishavskaya, T.S.; Hills, J.W. Organochlorine Pesticides in Mussels and Bottom Sediments from Peter the Great Bay near Vladivostok. *Ocean and Polar Research*. 1997, 19, 115–119.
43. Borovkova, A.D.; Gavrilova, V.A.; Donets, M.M.; Belanov, M.A.; Tsygankov, V.Yu. Mussel Watch Program in the Sea of Japan: Persistent Organic Pollutants in Bivalves of the Family Mytilidae. *Marine Pollution Bulletin*. 2024, 209, 117107. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117107>

Статья поступила в редакцию 1.08.2025; одобрена после рецензирования 30.10.25; принята к публикации 11.12.2025.

The article was submitted 1.08.2025; approved after reviewing 30.10.2025; accepted for publication 11.12.2025.



Особенности фораминиферовых сообществ в подводных ландшафтах прибрежной зоны Юго-Восточного Приморья

Елена Дямилевна ИВАНОВА
ведущий инженер
ivanova@tigdvo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5960-4824>
Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия

Аннотация. Изучены бентосные фораминиферы (таксономический состав, общая численность и процентное соотношение видов в комплексах) как составная часть биоты подводных ландшафтов прибрежной зоны Юго-Восточного Приморья. Пробы отбирались по двум профилям, расположенным на шельфе напротив входов в залив Ольги (профиль I) и в бухту Киевка (профиль II). По профилю I на глубинах от 30 до 100 м было отобрано 3 пробы, по профилю II было взято 8 проб на глубинах от 18 до 190 м. По результатам фораминиферового анализа в комплексах было определено 60 видов бентосных фораминифер, из которых 6 относятся к агглютинирующим (песчаным) формам, остальные виды – секреторные (известковые). Исследования показали, что основными природными факторами, влияющими на жизнедеятельность фораминиферовых сообществ в местах отбора проб, являются гидродинамика среды и характер грунта. Их свойства формируются под воздействием холодного Приморского течения, в зоне влияния которого находится район исследований. Таксономический состав комплексов в осадках относительно небольших глубин (от 18 до 50 м) представлен видами, имеющими широкий диапазон распространения – от мелководных маршей и лагун (от 0 м) до открытых акваторий внутреннего шельфа (до 50–60 м). Более глубоководные комплексы сформированы в условиях активной гидродинамики при постоянном поступлении на дно большого количества органического материала. В их составе доминируют виды, являющиеся индикаторами продуктивности поверхностных вод, а также виды, ведущие прикрепленный образ жизни в условиях активного действия придонных течений.

Ключевые слова: бентосные фораминиферы, подводные ландшафты, гидродинамика, субстрат, Приморское течение

Для цитирования: Иванова Е.Д. Особенности фораминиферовых сообществ в подводных ландшафтах прибрежной зоны Юго-Восточного Приморья // Тихоокеанская география. 2026. № 1. С. 105–115. https://doi.org/10.35735/26870509_2026_25_8.

Features of foraminiferal communities in the underwater landscapes of the coastal zone of South-Eastern Primorye

Elena D. IVANOVA

Lead engineer

ivanova@tigdvo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5960-4824>

Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

Abstract. Benthic foraminifera (taxonomic composition, total abundance, and the percentage ratio of species in assemblages) as a component of the underwater landscapes biota in the coastal zone of South-Eastern Primorye were studied. Samples were collected along two profiles located on the shelf opposite the entrances to Olga Bay (profile I) and to Kievka Bay (profile II). Three samples were collected along the profile I at depths from 30 m to 100 m, eight samples were taken along the profile II at depths from 18 m to 190 m. Based on the results of foraminiferal analysis, 60 species of benthic foraminifera were identified in the assemblages, 16 of which were agglutinate (sandy) forms, the remaining species were secretory (calcareous). The studies have shown that the main natural factors influencing the vital activity of foraminiferal communities at the sampling sites are environmental hydrodynamics and the nature of the sediment. Their properties were formed under the impact of the cold Primorsky Current, in the zone of influence of which the studied area is located. The taxonomic composition of the complexes for relatively shallow depths (from 18 m to 50 m) is represented by species with a wide range of distribution, from shallow marshes and lagoons (from 0 m) to open waters of the inner shelf (50-60 m). Deeper-water complexes formed under conditions of active hydrodynamics with a constant flow of large amounts of organic material to the bottom. Species-indicators of the productivity of surface waters dominate in this communities, as well as species that lead a sedentary lifestyle under conditions of active bottom currents.

Keywords: benthic foraminifera, underwater landscapes, hydrodynamics, substrate, Primorsky Current

For citation: Ivanova E.D. Features of foraminiferal communities in the underwater landscapes of the coastal zone of South-Eastern Primorye. Pacific Geography. 2026;(1):105-115. (In Russ.). https://doi.org/10.35735/26870509_2026_25_8.

Введение

Главной особенностью современных морских исследований донных сообществ является их ландшафтно-экологическая направленность. Подводные ландшафты представляют собой природные системы, возникающие в зоне взаимодействия рельефа и минерального субстрата и существующие на базе определенной геологической истории, гидроклиматических факторов и биоты. Их можно рассматривать как внешнее отражение всех процессов, происходящих в экосистеме [1, 2]. Разнообразие донных ландшафтов в значительной степени определяется с разнообразием бентосных сообществ, напрямую зависящих от свойств осадка. Наиболее тесно с этим связаны бентосные фораминиферы, особенно их инфунальные (зарывающиеся) формы, результаты жизнедеятельности которых вносят свой вклад в формирование тех или иных микроформ рельефа в процессе биотурбации [3, 4]. Морфологические особенности и жизненный цикл фораминифер, формирование их комплексов обусловлены влиянием различных факторов среды, каждый из которых при определенных условиях имеет приоритетное значение для жизнедеятельности этих организмов, что позволяет использовать их в качестве индикаторов состояния среды в морских экосистемах [5–7]. Особенно это важно для изучения донных ландшафтов в шельфовых зонах, где развиты реликтовые отложения. Необходимость из-

учения современных сообществ бентосных фораминифер (БФ) с учетом их экологических предпочтений заключается в возможности использования полученных данных не только в исследованиях по биомониторингу океана, но и в палеоэкологических и палеогеографических интерпретациях, основываясь на униформистском принципе «настоящее – ключ к прошлому».

В данной работе показаны результаты изучения фораминиферовых сообществ из поверхностных осадков донных ландшафтов на шельфе Юго-Восточного Приморья. Район исследований находится в зоне влияния холодного Приморского течения, что обусловило особенности формирования донных сообществ. Целью работы являлось описание видового состава выделенных комплексов БФ, выявление связи формирования фораминиферовых сообществ с основными факторами морской среды (изменение глубины воды, особенности гидродинамики, характер грунта), определяющими их распределение, разнообразие и обилие в донных биоценозах в условиях влияния придонных течений.

Физико-географическая характеристика района исследований

Шельф Приморья относится к типу узких эпиконтинентальных шельфов с преимущественно терригенным типом донных отложений [3]. В исследуемом районе осадконакопление формируется за счет поступления материала с твердым стоком рек, а также в результате абразионно-денудационных процессов в береговой зоне. На глубине 50–60 м современные осадки выклиниваются, переходя в зону реликтовых отложений [8], где о современном состоянии морской среды могут дать информацию бентосные сообщества (в том числе БФ). Формирование подводных ландшафтов в исследуемом районе связано с действием придонных течений, направление которых совпадает с направлением холодного Приморского течения [9]. Это течение является важным элементом круговорота вод в северной части Японского моря, а его относительно холодные, с пониженной соленостью воды оказывают большое влияние на все восточное побережье Приморья. Течение, захватывая толщу воды на глубину около 300 м, следует вдоль кромки шельфа на расстоянии 20–30 км от берега и имеет максимальную скорость на глубине около 100 м [9–11]. Многочисленные наблюдения выявили сложную структуру Приморского течения, состоящую из непосредственно зоны холодноводного потока (мористее изобат 40–50 м), фронтальной зоны над изобатами 20–40 м и зоны вдольбереговых противотечений [12, 13]. Течение формирует тип грунта, а также обеспечивает высокую продуктивность поверхностных вод, поставляя пищу и кислород, что влияет на размножение и расселение в прибрежных водах морских растений и беспозвоночных, споры и личинки которых пассивно переносятся [14]. В фораминиферовых сообществах, сформированных в этих условиях, отмечается большое количество инфунальных видов индикаторов биопродуктивности: *Uvigerina peregrina*, *Trifarina kokozuraensis*, представителей рода *Cibicides*.

Материалы и методы

Для изучения современных комплексов БФ в прибрежной зоне были использованы образцы осадков, отобранные грунтовыми трубками с борта судна в районе залива Ольги (профиль I) и бухты Киевка (профиль II) (см. рис.).

Взвешенные пробы отмывались через сита с размером ячейки >0.05 мм и >0.063 мм и высушивались при комнатной температуре. При последующем просмотре образцов под микроскопом (был использован стереомикроскоп МСП-2 вар. 5) в каждом из них подсчитывалось общее число раковин (для показательности в пересчете на 30 г сухого осадка), определялись таксономический состав и процентное соотношение видов. Для идентификации видов были использованы работы по таксономии БФ отечественных и зарубежных авторов [15–18], а также международные электронные базы данных [19, 20]. По образу

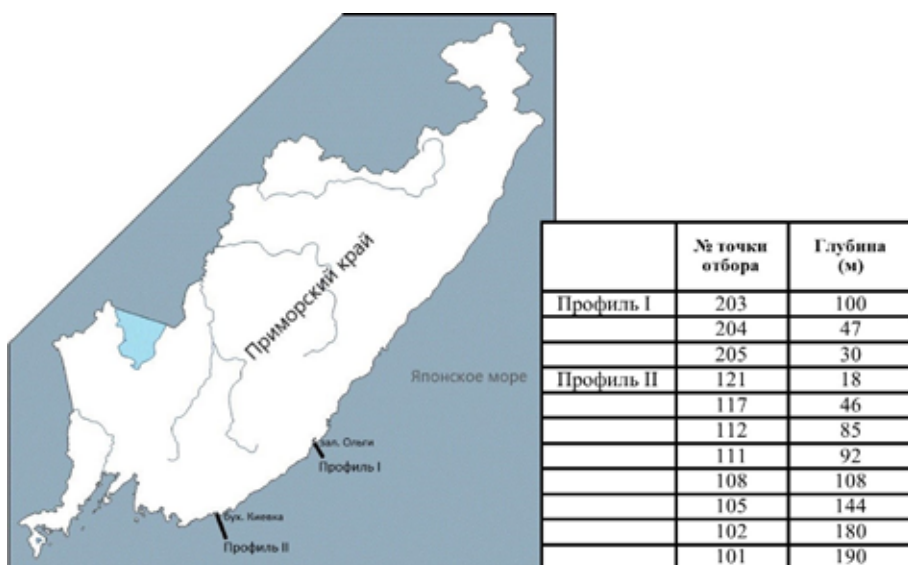


Рис. Расположение профилей опробования донных осадков у побережья Юго-Восточного Приморья
 Fig. Location of bottom sediment sampling profiles near the coast of South-Eastern Primorye

жизни бентосные фораминиферы подразделяются на инфунальные (зарывающиеся в осадок) и эпифаунальные (живущие на поверхности осадка). Большинство встреченных видов являются инфунальными, предпочитающими активную гидрологическую обстановку, а также глубоководные условия. Это, как правило, детритофаги, глубоко зарывающиеся в субстрат (до 25–30 см от поверхности осадка) и питающиеся осажженным и захороненным в донных осадках органическим веществом. Эпифаунальные виды, как правило, ведут прикрепленный образ жизни и являются сестонофагами, питающимися из придонного слоя воды взвешенным органическим материалом [21–23].

Результаты и их обсуждение

При изучении сообществ бентосных фораминифер было определено 60 видов, относящихся к 32 родам, из которых 6 относятся к агглютинирующим (песчаным) формам, остальные виды – секреторные (известковые).

В районе залива Ольги (профиль I) было взято три пробы на глубинах 30 м (т.о. 205), 47 м (т.о. 204) и 100 м (т.о. 203) (см. рис.). Осадки в точках отбора 203 и 204 представлены зеленовато-серым заиленным мелкозернистым песком с большим количеством гравия и мелкой, хорошо окатанной галькой. Заиленность грунта может свидетельствовать об относительно спокойной гидродинамической обстановке. В выделенных комплексах БФ определено 34 известковых вида и 3 агглютинирующих вида. Ядро комплексов составляют виды, характерные для открытых акваторий бухт и заливов, а также внутреннего и внешнего шельфа (табл. 1).

Наиболее высокими значениями обилия (274 экз./30 г сух. ос.) и видового разнообразия (28 видов) отличается комплекс БФ в т.о. 203. Доминантную группу составляют виды *Cibicides lobatulus* (24.9 %), *Islandiella excavata* (13.6 %), *Retroelphidium subgranulosum* (10.1 %), *Trifarina kokozuraensis* (9.7 %), *Cassandra limbata* (9.3 %), *Uvigerina peregrina* (13.2 %), широко распространенные на шельфе, а также встречающиеся на глубинах более 1000 м [16, 21]. Такой состав ведущих видов согласуется с имеющимися данными по БФ более ранних исследований в этом районе [5, 6]. Самым многочисленным является *Cibicides lobatulus* (до 24.9 %), эпифаунальный вид, толерантный к увеличению солености

Таблица 1

Видовой состав комплексов БФ и их процентное содержание в точках отбора проб по Профилю I

Table 1. Species composition of BF complexes and their percentage content at sampling points along Profile I

Виды БФ	Точки отбора		
	203 (100 м)	204 (47 м)	205 (30 м)
<i>Alabaminoides antarcticus</i> Gudina et Saidova	3.1		
<i>Ammonia neobecarii</i> Stschedrina et Mayer	0.0		
<i>Bolivina decussata</i> Brady	0.1		
<i>Buccella frigida</i> (Cushman)	0.4	2.3	
<i>Buccella granulata</i> (Lautenschleger)	1.2	8.6	
<i>Buccella hannaе arctica</i> Voloschinova	1.2		
<i>Buccella inusitata</i> Andersen	0.8	3.9	
<i>Buccella morishimae</i> (Chiji)	1.6		
<i>Bucella depressa</i> Andersen		0.1	
<i>Buliminella elegantissima</i> (d'Orbigny)		5.5	
<i>Cassandra grandis</i> Troitskaja	1.2		
<i>Cassandra limbata</i> (Cushman et Hughes)	9.3	13.2	
<i>Cassidulina delicata</i> Cushman	1.6		
<i>Cassidulina subacuta</i> (Gudina)	0.6	6.2	
<i>Globocassidulina subglobosa</i> (Brady)	0.4		
<i>Cibicides lobatulus</i> (Walker et Jacob)	24.9	26.5	
<i>Criboelphidium asterineum</i> Troitskaja		0.5	
<i>Criboelphidium etigoense</i> (Husezima et Maruhasi)	0.8	2.3	
<i>Criboelphidium goesi goesi</i> (Stschedrina)		0.1	
<i>Discoislandiella umbonata</i> (Voloshinova)	1.9	0.4	
<i>Eggerella advena</i> Cushman		1.0	
<i>Elphidiella arctica</i> (Parker et Jones)	0.1		
<i>Elphidiella flos</i> Troitskaja		0.1	
<i>Fissurina semimarginata</i> (Reuss)	0.02	0.02	
<i>Islandiella excavata</i> (Voloshinova)	13.6		
<i>Islandiella japonica</i> (Asano et Nakamura)	0.4	1.6	
<i>Nonionellina labradorica</i> (Dawson)	1.2	1.6	
<i>Planocassidulina kasiwazakiensis</i> (Husezima et Maruhasi)	1.6	0.1	
<i>Pyrgo sarsi</i> (Schlumberger)			1
<i>Quinqueloculina yezoensis</i> Asano			3
<i>Retroelphidium subgranulosum</i> (Asano)	10.1	19.5	
<i>Rotaliammina moneronensis</i> K.Furssenko		0.02	
<i>Trifarina kokozuraensis</i> (Asano)	9.7	1.7	
<i>Trochammina inflata</i> (Montagu)	0.4		
<i>Uvigerina auberiana</i> d'Orbigny	0.8	0.7	
<i>Uvigerina peregrina</i> Cushman	13.2	3.9	
Число видов	28	23	2
Общая численность (на 30 г сух. осадка)	274	37	4

Примечание. В скобках – глубина (м).

и ведущий прикрепленный к субстрату (от просто осадка до камней и раковин моллюсков) образ жизни. Остальные доминирующие виды представлены инфунальными формами, толерантными к дизоксидным условиям и предпочитающими заиленные осадки. Субдоминантная группа имеет довольно пестрый видовой состав, куда входят фораминиферы, обычные для условий открытого шельфа, но редко встречающиеся на мелководье (литораль, лагуны, эстуарии и т.д.) (см. табл. 1). Все это показывает, что формирование осадков в данной точке отбора проходило в условиях спокойной гидродинамической обстановки при нормальной солености.

Глубина т.о. 204 составляет 47 м. Выделенный комплекс БФ отличается меньшей общей численностью раковин (37 экз./30 г сух. осадка), меньшим количеством встреченных видов (23 вида). При общем сходстве доминантной группы БФ с комплексом в т.о. 203 отмечается резкое снижение численности представителей рода *Uvigerina*, предпочитающих более глубоководные условия. Видовой состав субдоминантной группы также сходен с вышеописанным комплексом БФ, но отличается процентным соотношением видов. Здесь отмечается исчезновение глубоководных представителей рода *Cassidulina*, увеличение доли более мелководных форм: *Buliminella elegantissima*, представителей родов *Cribrorhynchium*, *Buccella* (см. табл. 1). Учитывая особенности данного сообщества БФ, можно предположить наличие условий более активной гидродинамической обстановки в точке отбора 204.

Пробы в т.о. 205 были отобраны с глубины 30 м. Формирование осадков в этой зоне происходит под влиянием волно-прибойных процессов, в результате которых перемешивание наносов в береговой зоне достигает глубин 20–35 м [8]. Грунт представлен серовато-желтым разнородным песком с гравием и обилием ракушечного детрита, что предполагает активную гидродинамическую среду при его формировании. Здесь встречены единичные представители родов *Quinqueloquina* и *Pyrgo* с фарфоровидной стенкой раковины, относящиеся к эпифаунальным формам и предпочитающие условия внутреннего шельфа с широким диапазоном солености [21, 22].

Профиль II проложен от входа в бухту Киевка и дальше от берега в юго-восточном направлении до глубины 190 м (см. рис.). Фораминиферовый анализ был проведен для 8 проб, из которых наиболее близкая к берегу проба была отобрана на глубине 18 м (между мысами Разградского и Островным), самая удаленная от берега – на глубине 190 м (внешний шельф) (табл. 2).

В т.о. 121 (глубина 18 м) грунт представлен желтовато-серым крупнозернистым песком с гравием, с небольшим количеством мелкой гальки и обилием битой и целой толстостенной ракушки. В выделенном комплексе БФ определено 14 видов при общей численности раковин 192 экз./30 г сухого осадка. Ядро комплекса составляют представители семейства Elphidiidae, обычные для условий сублиторали. Субдоминантную группу представляют виды, имеющие широкий ареал обитания – от лагун и морских маршей до районов внутреннего шельфа (см. табл. 2). Присутствие в комплексе представителей рода *Quinqueloculina* и вида *Canalifera fax*, предпочитающих грубые осадки [24], свидетельствуют об активности водной среды, характерной для береговой зоны (волно-прибойные процессы, прибрежные течения).

С глубины 46 м (т.о. 117) характер грунта меняется. Здесь отмечены оливково-зеленый заиленный мелкозернистый песок с небольшим содержанием гальки, гравия и обломками ракушки. Заиленность осадка является, вероятно, результатом ослабления волно-прибойных процессов на этой глубине. В выделенном комплексе БФ увеличивается численность инфунального вида *Eggerella advena* (до 30 %) и представителей рода *Buccella*, появляются виды *Cassidulina teretis* и *Turrilina cunaschirensis*, предпочитающие условия формирования осадка при невысокой активности водной среды.

До изобаты 100 м состав грунта практически не меняется. Однако увеличение глубины влияет на экоструктуру фораминиферовых сообществ. На этих глубинах усиливается воздействие на донную среду основного потока Приморского течения, скорость которого составляет >10 см/с [11, 13]. Такие гидрологические условия с активным переносом донного субстрата формируют сообщества бентосных организмов с определенными механизмами приспособления: высокой подвижностью, способностью закапываться [9].

В т.о. 112 (гл. 85 м) в комплексе меняется состав доминантной группы. Ведущими становятся виды, характерные для шельфа-верхней батнали: *Cibicides lobatulus* (32.5 %), *Discoislandiella umbonata* (17.8 %), *Buccella morishimae* (10 %), предпочитающие прикрепленный образ жизни в условиях высокой гидрологической активности [15, 16, 21]. В акцессорной группе также появляются более глубоководные виды: *Uvigerina peregrina*,

Таблица 2

Видовой состав комплексов БФ и их процентное соотношение в точках отбора проб по Профилю II
Table 2. Species composition of BF complexes and their percentage content at sampling points along Profile II

Виды БФ	Точки отбора проб							
	121 (18 м)	117 (46 м)	112 (85 м)	111 (92 м)	108 (108 м)	105 (144 м)	102 (180 м)	101 (190 м)
<i>Alveolophragmium orbiculatum</i> Stschedrina			2.5					
<i>Buccella frigida</i> (Cushman)		11.5						
<i>Buccella hannaе arctica</i> Voloschinova		11.5	2.5					
<i>Buccella morishimae</i> (Chiji)	4.2	7.7	10	21.7	36		6.1	25.7
<i>Buccella limpida</i> Levthcuk	8.3							
<i>Buliminella elegantissima</i> (d'Orbigny)	4.2							
<i>Canalifera fax</i> (Nicol)	8.3							
<i>Cassidulina teretis</i> Tappan		15.4	5	24.3	8			
<i>Cassandra singularis</i> Troitskaya				5.2				34.8
<i>Cassidulina cushmani</i> K. Stewart et R. Stewart								4.7
<i>Cassidulina subacuta</i> (Gudina)			7.5					
<i>Cassidulina translucens</i> Cushman & Hughes							3.0	
<i>Cassilamellina setanaensis</i> (Asano et Nakamura)								
<i>Cibicides refulgens</i> Montfort					12		9.1	4.5
<i>Cibicides lobatulus</i> (Walker et Jacob)			32.5	22.6		20		10.6
<i>Criboelphidium asterineum</i> Troitskaja	12.5	3.8		0.9				
<i>Criboelphidium battale</i> (Saidova)			2.5					
<i>Criboelphidium etigoense</i> (Husezima et Maruhasi)			2.5					
<i>Criboelphidium frigidum</i> (Cushman)			2.5		4			
<i>Criboelphidium goesi cognatum</i> Polovova	16.7							1.5
<i>Discoislandiella umbonata</i> (Voloschinova)			17.5		4			
<i>Eggerella advena</i> Cushman	8.3	30.8						
<i>Elphidium advenum depressulum</i> Cushman	4.2							
<i>Elphidium excavatum</i> (Terquem)	4.2							
<i>Epistominella pacifica</i> (Cushman)								
<i>Glabratella opercularis</i> (d'Orbigny)			2.5					
<i>Islandiella japonica</i> (Asano et Nakamura)			5				63.6	9.1
<i>Karrerella sublitoralis</i> Saidova								1.5
<i>Lagena semilineata</i> Wright				0.9				
<i>Nonionella japonica</i> (Asano)							3.0	
<i>Nonionella pulchella</i> Hada							3.0	1.5
<i>Nonionellina labradorica</i> (Dawson)				1.7				
<i>Proteonella difflugiformis</i> (Brady)	4.2							
<i>Quinqueloculina interposita</i> Levthcuk sp. nov.	4.2							
<i>Quinqueloculina yezoensis</i> Asano	4.2							
<i>Retroelphidium subclavatum</i> (Gudina)2	12.5	11.5		6.1				3.0
<i>Retroelphidium subgranulosum</i> (Asano)			2.5		8			
<i>Rotaliammina moneronensis</i> K.Furssenko	4.2	3.8					3.0	
<i>Trifarina kokozuraensis</i> (Asano)				1.7	16	20	6.1	1.5
<i>Turrilina cunashiriensis</i> K.Furssenko sp. nov.		3.8						
<i>Uvigerina auberiana</i> d'Orbigny							3.0	
<i>Uvigerina peregrina</i> Cushman			5	14.8	12	60	9.1	1.5
Число видов	14	9	14	10	8	3	9	12
Общая численность (на 30 г сух. осадка)	192	208	40	115	200	80	264	529

Criboelphidium frigidum, агглютинирующий вид *Alveolophragmium orbiculatum*. При общем невысоком обилии БФ (40 экз./30 г ос.) отмечается увеличение видового разнообразия (до 14 видов). Подобные комплексы формируются, как правило, в условиях активной гидродинамики с высокой продуктивностью поверхностных вод.

С увеличением глубины (т.о. 111, 108) меняются экоструктура комплексов и их количественные параметры. Общая численность фораминифер увеличивается до 115 экз./30 г ос. в т.о. 111 (глубина 92 м) и до 200 экз./30 г осадка в т.о. 108 (глубина 108 м), но видовой состав более беден (10 и 8 видов соответственно). Доминирующие позиции занимают *Cassidulina teretis*, *Cibicides lobatulus*, *Cibicides refulgens*, *Buccella morishimae*, *Uvigerina peregrina*. Появляются холодноводные инфунальные виды *Cassandra singularis*, *Nonionellina labradorica*, *Lagena semilineata*, встречающиеся на глубинах более 2000 м [16, 17, 21].

С глубины более 108 м осадки представлены хорошо сортированным зеленовато-серым крупнозернистым песком с небольшим количеством гравия, мелкой, средней и крупной хорошо окатанной галькой и избытком битой толстостенной ракушки. Таксономический состав глубоководных сообществ БФ в точках отбора 105 (гл. 144 м), 102 (глубина 180 м) примерно соответствует ранее выделенным комплексам и представлен видами, характерными для условий внешнего шельфа-верхней батииали. Меняется процентное соотношение видов. Увеличивается доля *Uvigerina peregrina* (до 60 %), *Cibicides lobatulus* (до 20 %), *Islandiella japonica* (до 64 %), являющихся индикаторами высокой продуктивности поверхностных вод при активном гидрологическом режиме. Появление в субдоминантной группе представителей рода *Nonionella*, обитающих на глубинах более 1000 м, толерантных к диксидным условиям донной среды, также может указывать на высокую продуктивность вод.

Самая удаленная от берега точка отбора (т.о. 101) располагается на глубине 190 м. Ядро комплекса БФ составляют глубоководные виды, обитающие на глубинах от 100 до более 2000 м (*Cassandra singularis*, *Buccella morishimae*, *Cibicides lobatulus*, *Islandiella japonica*) (см. табл. 2). Состав акцессорной группы довольно разнообразен. Встреченные виды имеют широкий ареал обитания по глубине (внутренний и внешний шельф). Однако появление эпифаунального вида *Karreriella sublitoralis*, обитающего на больших глубинах (внешний шельф-батиаля), является хорошим дополнительным показателем глубоководных условий формирования осадка [16, 17, 21, 22].

Заключение и выводы

Изучение состояния донных сообществ, ландшафтный мониторинг и оценка изменений окружающей среды являются важнейшими задачами, решаемыми при морских исследованиях. Пространственная структура подводных ландшафтов является результатом сложного комплекса факторов. Учет их влияния при ландшафтных исследованиях остается сложной задачей, поскольку эффект взаимодействия и характер пространственно-временной изменчивости таких параметров, как температура, соленость, скорость течения, содержание растворенного кислорода и др., еще недостаточно изучены [1]. Использование организмов (в данном случае бентосных фораминифер) как показателей определенных параметров среды является важной составной частью подобных исследований и позволяет проследить связь распределения и динамики бентических сообществ как с отдельными факторами среды, так и с их комплексом в целом. Особенностью изученных фораминиферовых сообществ является их расположение в зоне влияния Приморского течения. Характер гидродинамики влияет на распределение грунтов, температуры, солености, содержания кислорода и других физических показателей, а также на содержание питательных веществ, необходимых для существования организмов. От нее же зависит и степень мобильности субстрата, которая непосредственно воздействует на распределение

бентоса [25]. Экоструктурные изменения в изученных комплексах БФ (Профили I и II) хорошо прослеживаются эту взаимосвязь. На глубинах от 18 до 50 м в комплексах доминируют виды, обитающие в широком диапазоне глубин – от мелководных маршей и лагун (от 0 м) до открытых акваторий внутреннего шельфа (до 50–60 м) (представители родов *Elphidium*, *Cribroelphidium*, *Buccella*). В условиях внешнего шельфа-батиали эти виды встречаются редко. С увеличением глубины происходят изменения в видовом составе комплексов. Резко увеличивается содержание глубоководных видов, обитающих на глубинах от 50 до более 1000 м. Доминантную группу составляют представители родов *Uvigerina*, *Islandiella*, *Eggerella*, *Cibicides*, предпочитающие условия активной гидродинамики при стабильном поступлении на дно большого количества органического материала. Более ранние исследования микрофауны в этом районе показывают большое сходство комплексов БФ по доминантным видам, однако состав аксессуарных видов значительно отличается, что, вероятно, можно объяснить особенностями гидрологического режима [15, 16].

Литература

1. Жариков В.В. Развитие ландшафтного подхода к изучению подводных геосистем в Тихоокеанском институте географии // Тихоокеанская география. 2022. № 1. С. 5–17.
2. Преображенский Б.В., Жариков В.В., Дубейковский Л.В. Основы подводного ландшафтоведения (Управление морскими экосистемами). Владивосток: Дальнаука, 2000. 352 с.
3. Федоров В.В. Донные ландшафты шельфа юго-восточного Приморья (Японское море). Биологические ресурсы: Состояние, перспективы и проблемы их рационального использования // Биологические основы распределения промысловых и кормовых морских животных: Сб. науч. тр. М.: ВНИРО, 1991. С. 70–82.
4. Арзамасцев И.С., Преображенский Б.В. Атлас подводных ландшафтов Японского моря. М.: Наука, 1990. 224 с.
5. Jorissen F.J., De Stigter H.C., Widmark J.G.V. A conceptual model explaining benthic foraminiferal microhabitats / F.J. Jorissen, H.C. de Stigter, J.G.V. Widmark // Marine Micropaleontology. 1995. Vol. 26, N 1–4. P. 3–15.
6. Преображенская Т.В., Преображенский Б.В., Тарасова Т.С. Фораминиферы в донных ландшафтах бухты Три Озера (Японское море) // Биология моря. 1996. Т. 22, № 1. С. 10–20.
7. Тарасова Т.С. Влияние среды на фауну бентосных фораминифер в прибрежных экосистемах // Биология моря. 2006. Т. 32, № 2. С. 85–94.
8. Разжигаева Н.Г. Осадконакопление в прибрежной зоне Японского моря в позднем плейстоцене – голоцене (северо-западный сектор). Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. 140 с.
9. Папунов В.Г. Донные природные комплексы верхнего шельфа Среднего Приморья. // Донные ландшафты Японского моря. Владивосток: ДВО АН СССР, 1987. С. 73–81.
10. Яблоков К.В., Моторин А.И. Особенности придонных течений прибрежной зоны северо-западной части Японского моря // Научные основы создания подводной автоматической добычи полезных ископаемых со дна морей и океанов: сб. науч. тр. М., 1975. С. 85–93.
11. Бессонов Р.С., Галаутдинова А.Р., Дубина В.А. Особенности динамики вод у восточного побережья Приморья // Научные труды Дальрыбвтуза. 2017. Т. 41.
12. Жабин И.А., Грамм-Осипова О.Л., Юрасов Г.И. Ветровой апвеллинг у северо-западного побережья Японского моря // Метеорология и гидрология. 1993. № 10. С. 82–86.
13. Никитин А.А., Цыпышева И.Л., Зуенко Ю.И., Басюк Е.О. Структура Приморского течения (Японское море) на спутниковых изображениях и стандартных разрезах // Известия ТИНРО. 2024. Т. 204, вып. 4. С. 843–865.
14. Зуенко Ю.И. Влияние приливного перемешивания на биопродуктивность дальневосточных морей в летний сезон // Океанологические основы биологической продуктивности северо-западной части Тихого океана. Владивосток: ТИНРО, 1992. С. 56–79.
15. Вопросы биогеографии и экологии фораминифер / отв. ред. А.В.Фурсенко/. Новосибирск: Наука, 1973. 224 с.
16. Фурсенко А.В., Троицкая Т.С., Левчук Л.К. и др. Фораминиферы дальневосточных морей СССР. Новосибирск: Наука, 1979. 399 с.
17. Саидова Х.М. Бентосные фораминиферы Тихого океана. М.: Институт океанологии имени П.П. Ширшова АН СССР, 1975. 881 с.
18. Yanli Lei, Tiegang Li. Atlas of Benthic Foraminifera from China Seas. The Bohai Sea and the Yellow Sea // Springer Geology. 2016. 399 p.
19. Foraminifera Database. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://foraminifera.eu/> (Дата обращения: 12.08.2025).

20. World Foraminifera Database. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.marinespecies.org/foraminifera/> (Дата обращения: 12.08.2025).
21. Murray J.W. Ecology and Applications of Benthic Foraminifera. Hardback: University of Southampton, 2006. 440 p.
22. Modern Foraminifera (Sen Gupta, B. K., ed.). Dordrecht: Kluwer, 1999. 371 p.
23. Binczewska A., Polovodova Asteman I., Farmer E.J. Foraminifers (Benthic) // Encyclopedia of Marine Geosciences. 2015. P. 1–8.
24. Иванова Е.Д., Жариков В.В., Лебедев А.М. Бентосные фораминиферы как индикаторы донной среды в прибрежной зоне залива Владимира (Среднее Приморье) // Успехи современного естествознания. 2024. № 12. С. 34–41.
25. Жариков В.В., Преображенский Б.В. Ландшафтный мониторинг бухты Алексея залива Петра Великого // Подводные исследования и робототехника. 2010. № 2 (10). С. 72–84.

Reference

- Zharikov, V.V. Development of a landscape approach to the study of underwater geosystems at the Pacific Geographical Institute FEB RAS. *Pacific Geography*. 2022, (1), 5–17. (In Russian)
- Preobrazhensky, B.V.; Zharikov, V.V.; Dubeikovskiy, L.V. Basics of Underwater Landscape Studies: (Management of Marine Ecosystems). Dalnauka: Vladivostok, Russia. 2000; 352 p. (In Russian)
- Fedorov, V.V. Bottom landscapes of the shelf of the south-east Primorie (the Sea of Japan). Biological resources: the state, prospects and problems of their rational exploitation. In *Biogenic basis of the distribution of commercial and food marine animals: Collected papers*. Moscow: VNIRO, Russia. 1991, 70 - 82. (In Russian)
- Arzamastsev, I.S.; Preobrazhensky, B.V. Atlas of underwater landscapes of Sea of Japan. Nauka: Moscow, Russia, 1990; 224 p. (In Russian)
- Jorissen, F.J.; De Stigter, H.C.; Widmark, J.G.V. A conceptual model explaining benthic foraminiferal microhabitats. *Marine Micropaleontology*. 1995, 26(1-4), 3–15.
- Preobrazhenskaya, N.V.; Preobrazhenskii, B.V.; Tarasova, T.S. Foraminifera in the bottom landscapes of Tri Ozera Bay (Sea of Japan). *Russian Journal of Marine Biology*. 1996, 22(1), 10-20. (In Russian)
- Tarasova, T.S. Environmental impacts on the benthic foraminiferal fauna in nearshore ecosystems. *Russian Journal of Marine Biology*. 2006, 32(2), 85-94. (In Russian)
- Razjigaeva, N.G. Sedimentation in the coastal zone of the Sea of Japan in the late Pleistocene - Holocene (north-western sector). Far Eastern Branch of the Academy of Sciences of the USSR: Vladivostok, Russia, 1990; 140 p. (In Russian)
- Papunov, V.G. Bottom natural complexes of the Middle Primorye upper shelf. In *Bottom landscapes of the Sea of Japan*. Far Eastern Branch of the Academy of Sciences of the USSR: Vladivostok, Russia. 1987, 73-81. (In Russian)
- Yablokov, K.V.; Motorin, A.I. The bottom currents features in the coastal zone of the northwestern part of the Sea of Japan. In *Scientific foundations for the creation of underwater automatic extraction of minerals from the bottom of the seas and oceans*. Moscow, Russia. 1975, 85-93. (In Russian)
- Bessonov, R.S.; Galautdinova, A.R.; Dubina, V.A. Features of the water dynamics near eastern Primorye coast. *Scientific of DALRYBVTUZ Journal*. 2017, 41, 5-10. (in Russian)
- Zhabin, I.A.; Gramm-Osipova, O.L.; Yurasov, G.I. Wind upwelling near the northwestern coast of the Sea of Japan. *Meteorology and Hydrology*. 1993, 10, 82–86. (In Russian)
- Nikitin, A.A.; Tsypysheva, I.L.; Zuenko, Yu.I.; Zuenko, Yu.I. Structure of the Primorye Current (Japan Sea) on satellite images and standard sections. *Izvestiya TINRO*. 2024, 204(4), 843-865. (In Russian)
- Zuenko, Yu.I. The tidal mixing influence on the bioproductivity of the Far Eastern seas in the summer season. In *Oceanological foundations of biological productivity of the northwestern part of the Pacific Ocean*. Publishing House of TINRO: Vladivostok, Russia. 1992, 56–79. (In Russian)
- Problems of foraminifera's biogeography and ecology (Responsible editor A.W.Furssenko). Nauka: Novosibirsk, Russia, 1973; 224 p. (In Russian)
- Furssenko, A.W.; Troitskaja, T.S.; Levchuk, L.K. et al. Foraminifera of the Far Eastern Seas. Nauka: Novosibirsk, Russia, 1979; 399 p. (In Russian)
- Saidova, Kh.M. Benthic foraminifera of the Pacific Ocean. Institute of Oceanology named after P.P. Shirshov Academy of Sciences of the USSR: Moscow, Russia, 1975; 881 p. (In Russian)
- Yanli, Lei; Tiegang, Li. Atlas of Benthic Foraminifera from China Seas. The Bohai Sea and the Yellow Sea. *Springer Geology*. 2016; 399 p.
- Foraminifera Database. Available online: <https://foraminifera.eu/>. (accessed on 12 August 2025).
- World Foraminifera Database. Available online: <https://www.marinespecies.org/foraminifera/>. (accessed on 12 August 2025).
- Murray, J. Ecology and application of benthic foraminifera. Cambridge University Press: New York, USA. 2006; 426 p.
- Modern Foraminifera. Ed. by Sen Gupta B.K. Dordrecht: Kluwer, 1999; 371 p.

23. Binczewska, A.; Polovodova, Asteman I.; Farmer, E.J. Foraminifers (Benthic). In *Encyclopedia of Marine Geosciences*. 2015, 1-8.
24. Ivanova, E.D.; Zharikov, V.V.; Lebedev, A.M. Benthic foraminifera as indicators of bottom environment in the coastal zone of Vladimir Bay (Middle Primorye). *Advances in current natural sciences*. 2024, 12, 34-41. (In Russian)
25. Zharikov, V.V.; Preobrazhensky, B.V. Landscape monitoring of the Alekseev Bay of Peter the Great Gulf. *Underwater research and robotics*. 2010, 2(10), 72-84. (In Russian)

Статья поступила в редакцию 26.08.2025; одобрена после рецензирования 20.11.25; принята к публикации 10.12.2025.

The article was submitted 26.08.2025; approved after reviewing 20.11.2025; accepted for publication 10.12.2025.



ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научная статья

УДК

DOI:

Тихоокеанская география. 2024. № ... С.

Pacific Geography. 2024;(...):.....

Название статьи

Имя Отчество ФАМИЛИЯ¹, Имя Отчество ФАМИЛИЯ²

¹ Ученая степень, должность

paper@e-mail.org, <https://orcid.org/>.....

Организация, город, страна

² Ученая степень, должность

paper@e-mail.org, <https://orcid.org/>.....

Организация, город, страна

Аннотация. Одним параграфом объемом не менее 200 слов. В аннотации необходимо отразить основные результаты работы. Рекомендуется использовать слова: установлено, показано, уточнено, доказано, разработано и т.п. Методы исследования необходимо описывать в аннотации, если они несут в себе элементы новизны и имеют значение для развития исследований другими учеными. Не надо повторять название статьи. Ссылки на источники литературы в аннотации приводить нельзя. Можно использовать только общепринятые сокращения и условные обозначения. Обращаем внимание, что аннотация, как правило, является ключевым источником информации о научной статье.

Ключевые слова: ключевое слово1, ключевое слово2, ключевое слово3 (не более 5)

Для цитирования: Фамилия И.О.1, Фамилия И.О.2 Название статьи // Тихоокеанская география. 2024. № ... С. <https://doi.org/>.....

Original article

Title

First name LASTNAME¹, First name LASTNAME²

¹ Academic degree, position

paper@e-mail.org, <https://orcid.org/>.....

Affiliation 1, city, country

² Academic degree, position

paper@e-mail.org, <https://orcid.org/>.....

Affiliation 2, city/ country

Abstract. Аннотация на английском языке пишется одним параграфом, объем не менее 300 слов. Англоязычная аннотация является главным источником информации о содержании статьи для зарубежных коллег. Аннотация на английском языке должна быть информативной, оригинальной (не являться дословным переводом русскоязычной аннотации), отражать основное содержание статьи и результаты исследований, следовать логике описания результатов в статье, написана каче-

ственным английским языком. Не допускается использовать автоматические переводчики. Необходимо указывать актуальность, цель исследования, подробно описать основные результаты и выводы работы.

Keywords: keyword 1, keyword 2, keyword 3 (maximum 10)

For citation: First name Lastname¹, First name Lastname². Title.... Pacific Geography. 2024;(...):..... (In Russ.). <https://doi.org/.....>

Введение

Объем статьи не должен превышать **10 страниц** (шрифт Times New Roman, 10, одинарный межстрочный интервал), включая аннотацию, рисунки, таблицы и список литературы.

Единицы физических величин приводятся по системе СИ. В десятичных дробях употребляются точка – 18.3. Буква «ё» используется только в географических названиях и собственных именах.

Источники в списке литературы располагаются по мере упоминания в тексте. В тексте ссылки на использованную литературу приводятся в квадратных скобках – [2], [3–5], [3, 6]. Обязательно указывать всех соавторов и редакторов. Литература представляется на русском и английском языках. Пример оформления литературы приведен в конце документа.

Материалы и методы

Все использованные материалы и методы в статье должны быть подробно описаны в этом разделе. Обязательно проставлять ссылки на использованные источники информации.

Результаты и их обсуждение

Все рисунки и таблицы должны быть помещены в текст статьи. Максимум разрешается размещать в статье 3 рисунка: 1 цветной, 2 черно-белых. Рисунки также представляются вместе со статьей ОТДЕЛЬНЫМИ файлами в формате JPG разрешением не менее 600 dpi.

Ссылки на рисунки выполняются в формате «(рис. 1)», если рисунок один – «(см. рис.)», на таблицы – в формате «(табл. 1)», если таблица одна – «(см. табл.)». Названия всех рисунков и таблиц должны быть продублировано на английском языке. Пример оформления:

Таблица 1

Пример оформления таблицы. Таблица должна быть размещена сразу после первого упоминания в тексте. Не допускается наличие пустых ячеек.

Table 1. The title of the table in English

№	Столбец 1	Столбец 2
Строка 1	данные	данные
Строка 2	данные	данные ¹
Строка 3	-	данные

¹ Сноски помещаются сразу после таблицы

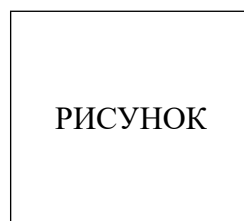


Рис. 1. Рисунок располагается в тексте при первом упоминании. Максимум разрешается размещать в статье 3 рисунка: 1 цветной, 2 черно-белых. Рисунки также представляются вместе со статьей в формате JPG разрешением не менее 600 dpi.

Fig. 1. The title of the figure in English

Пример оформления формул:

$$a = 8b, \quad (1)$$

Заклучение и выводы

Не допускается писать данный раздел простым нумерованным списком.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке/в рамках госзадания или проекта (гранта, программы, договора) № 00-00-00.

Acknowledgments.

Литература

1. Адрианов А.В. Стратегия и методология изучения морского биоразнообразия // *Биология моря*. 2004. Т. 30, № 2. С. 91–95.
2. Пшеничников Б.Ф., Пшеничникова Н.Ф. Специфика формирования буроземов на островах залива Петра Великого (юг Дальнего Востока) // *Вестн. ДВО РАН*. 2013. № 5. С. 87–96.
3. Исаченко А.Г. Ландшафты СССР. Л.: Изд-во Ленингр. ин-та, 1985. 320 с.
4. Арзамасцев И.С., Преображенский Б. В. Атлас подводных ландшафтов Японского моря. М.: Наука, 1990. 222 с.
5. Колесников Б.П. Растительность // *Дальний Восток: Физико-географическая характеристика*. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 182–245.
6. Распоряжение от 30 мая 2017 г. № 1134-р. // Правительство Российской Федерации. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/HYZCb7816A7jC4UErg2A6Dt2aVufpxJN.pdf> (Дата обращения: 11.03.2019).
7. Иванов Р.М., Петров А.М. Развитие Дальнего Востока // *Электронный журнал*. – 2018. № 4. С. 8–10 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://el.science.ru/ttb/2018-4> (Дата обращения: 07.11.2018).

References

1. Adrianov, A.V. Strategy and Methodology of the Study of Marine Biological Diversity. *Russian Journal of Marine Biology*. 2004, 30(2). 17–21. (In Russian)
2. Pshenichnikov, B.F.; Pshenichnikova, N.F. Specificity of the Formation of Burozems on the Islands of Peter the Great Bay (South of the Far East). *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2013, 5, 87–96. (In Russian)
3. Isachenko, A.G. Landscapes of the USSR. Leningrad University: Leningrad, Russia, 1985; 320 p. (In Russian)
4. Arzamastsev, I.S.; Preobrazhensky, B.V. Atlas of Underwater Landscapes of Sea of Japan. Nauka: Moscow, Russia, 1990; 222 p. (In Russian)
5. Kolesnikov, B.P. Vegetation. In *Far East: Physical and Geographical Characteristics*; Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR: Moscow, Russia, 1961, 182–245 (In Russian)
6. Government of the Russian Federation. Order of May 30, 2017 No. 1134-p. Available online: <http://static.government.ru/media/files/HYZCb7816A7jC4UErg2A6Dt2aVufpxJN.pdf> (accessed on 11 March 2019). (In Russian)
7. Ivanov, R.M.; Petrov, A.M. Development of the Far East. *Digital Journal*. 2018, 4, 8-10. Available online: <http://el.science.ru/ttb/2018-4> (accessed on 7 November 2018). (In Russian)

Адрес редакции:

690041 Владивосток, ул. Радио, 7, каб. 215
тел. +7 (423) 232-06-46
E-mail: pac_geogr@tigdvo.ru
<http://tigdvo.ru/zhurnal-tihookeanskaya-geografiya/>

Издатель:

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки
Тихоокеанский институт географии
Дальневосточного отделения
Российской академии наук
690041 Владивосток, ул. Радио, 7
Тел. +7 (423) 232-06-72

Выход в свет 30.03.2026 г.

Формат 70 × 108/16

Усл. печ. л. 10,4

Уч.-изд. л. 9,71

Тираж 100 экз. Заказ 2

Цена свободная

Отпечатано:

ИП Мироманова И.В.

690106 Владивосток, ул. Нерчинская, 42-102

Свидетельство Роскомнадзора о регистрации ПИ № ФС77-78620 от 08.07.2020 г.