

ISSN 2687-0509

ТИХООКЕАНСКАЯ ГЕОГРАФИЯ



3(27).2026

ТИХООКЕАНСКАЯ ГЕОГРАФИЯ

Научный журнал

Учредитель

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

3 (27). 2026

Журнал основан в 2020 г.

Выходит 4 раза в год

СОДЕРЖАНИЕ

Изучение территориальных социально-экономических систем и их компонентов

РАЕВСКИЙ С.В. Исследование территориальных хозяйственных структур в работах П.Я. Бакланова	5
РОМАНОВ М.Т., ТКАЧЕНКО Г.Г., ШВЕДОВ В.Г. Роль внешнеполитического и минерально-сырьевого факторов в становлении современного геополитического положения Северо-Востока России (XX – начало XXI в.)	13
РАЗМАХНИНА Ю.С. Трансформация результатов выборов Президента РФ в 2018 и 2024 гг. на муниципальном уровне (на примере регионов Восточной Сибири)	28
КОКОРИН Д.В. Эволюция пространственной структуры маршрутной сети городского общественного транспорта Владивостока	39
МАФРАТОГЛУ М. Методика измерения и интерпретации фаз жизненного цикла трубопроводного проекта (ЖЦТ): минимально достаточный фазовый индикаторный набор	50

Изучение природных геосистем и их компонентов

ЛУЦЕНКО Т.Н., ШУЛЬКИН В.М., БОЛДЕСКУЛ А.Г., ШАМОВ В.В., ЮРЧЕНКО С.Г. Распределение растворенного органического углерода и биогенных элементов в поверхностных водах бассейна озера Ханка	64
ДОНЕЦ М.М., БЕЛАНОВ М.А., БОРОВКОВА А.Д., ЛИТВИНЕНКО А.В., МАСАЛЕВА К.Р., ШЕСТЁРА А.А., ВАСИЛЕНКО Н.Д., ЛЯХ В.А., ЦЫГАНКОВ В.Ю. Органические токсиканты в промысловых рыбах Охотского моря. Часть 1. Полициклические ароматические углеводороды в минтае тихоокеанском	80
ЛУПАКОВ С.Ю., БУГАЕЦ А.Н. Анализ статистических характеристик рядов расходов воды на реках бассейна Японского моря	91
КОСТЫК В.А., КАЛАШНИКОВ К.И., ЛЯЛЮШКО Е.А., НАГОРНЫЙ К.А., ВИХРЕНКО С.В. Особенности оценки биомассы и запасов углерода методами наземного и воздушного сканирования на карбоновом полигоне	101

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:

Бровко 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)
Пинюй Чжан	–	профессор, заместитель директора Института географии и агроэкологии КАН (Китай)
Плюсин 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

3 (27). 2026

The journal was founded in 2020
Periodicity – 4 times a year

CONTENTS

Examination of the territorial socio-economic geosystems and their components	
RAEVSKY S.V. The study of territorial economic structures in the works of P.Ya. Baklanov	5
ROMANOV M.T., TKACHENKO G.G., SHVEDOV V.G. The role of foreign policy and mineral resource factors in shaping the modern geopolitical situation in Northeast Russia (XX – early XXI centuries)	13
RAZMAKHNINA Yu.S. Transformation of the 2018 and 2024 presidential elections results at the municipal level in Eastern Siberia	28
KOKORIN D.V. Evolution of the spatial structure of Vladivostok urban public transport route network	39
MAFRATOGLU M. Methodology for Measuring and Interpreting the Phases of the Pipeline Project Life Cycle Model: A Minimally Sufficient Phase Indicator Set	50
Examination of the natural geosystems and their components	
LUTSENKOT.N., SHULKIN V.M., BOLDESKULA.G., SHAMOV V.V., YURCHENKO S.G. Distribution of dissolved organic carbon and biogenic elements in the surface waters of the Khanka Lake basin	64
DONETS M.M., BELANOV M.A., BOROVKOVA A.D., LITVINENKO A.V., MASALEVA K.R., SHESTERA A.A., VASILENKO N.D., LYAKH V.A., TSYGANKOV V.Yu. Organic toxicants in commercial fish species from the Sea of Okhotsk. Part 1. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Alaska pollock	80
LUPAKOV S.Yu., BUGAETS A.N. Analysis of statistical characteristics of rivers discharge series, the Sea of Japan tributaries case	91
KOSTYK V.A., KALASHNIKOV K.I., LIALIUSHKO E.A., NAGORNYI K.A., VIKHRENKO S.V. Features of biomass and carbon stock assessment using ground-based and airborne scanning methods at the carbon polygon	101

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) |
| 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) |



Исследование территориальных хозяйственных структур в работах П.Я. Бакланова

Сергей Васильевич РАЕВСКИЙ

доктор экономических наук, профессор

svraevsky@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9025-9467>

Институт бизнеса и делового администрирования РАНХиГС при Президенте РФ, Москва, Россия

Аннотация. В статье показана роль П.Я. Бакланова в экономико-географических исследованиях территориальных хозяйственных структур. Отмечена важность использования в данном аспекте методологии системного подхода и анализа, наиболее целостно охватывающей интеграцию материальных структур, их функционирование и развитие, целостность и иерархичность. Дана характеристика пространственной системы промышленного производства как определенного сочетания ресурсных узлов, узлов производства и потребления. Показана важность выделения П.Я. Баклановым в качестве низшего и исходного звена в иерархической структуре промышленного производства элементарной пространственной системы производства (ЭСП) в виде пространственного сочетания ресурсных узлов и узлов потребления, связанных линиями перемещения и непосредственно взаимодействующих с одним узлом производства. Отмечена перспективность использования в управлении экономикой региона категории «поле потенциальных затрат», в которой соизмеряются и отражаются все факторы будущего размещения производства. Показаны особенности выделения и обоснования П.Я. Баклановым линейно-узловой системы промышленного производства (ЛСУ), включающей отдельные конкретные предприятия, организации и потоки сырья, материалов и продукции между ними. Выделены основные черты акватерриториальных хозяйственных комплексов, которые включают в себя не только территорию, но и ареалы акватории в пределах экономической зоны.

Ключевые слова: геосистемы, территориальные хозяйственные структуры, система промышленного производства, элементарная система производства, поле потенциальных затрат, линейно-узловые системы, акватерриториальные хозяйственные комплексы

Для цитирования: Раевский С.В. Исследование территориальных хозяйственных структур в работах П.Я. Бакланова // Тихоокеанская география. 2026. № 3. С. 5–12. https://doi.org/10.35735/26870509_2026_27_1

Original article

The study of territorial economic structures in the works of P.Ya. Baklanov

Sergey V. RAEVSKY

Doctor of Economical Sciences, Professor

svraevsky@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9025-9467>

Abstract. The article presents the role of P. Ya. Baklanov in economic and geographical studies of territorial economic structures. The importance of using in this aspect the methodology of a systems approach and analysis, which most comprehensively covers the integration of material structures, their functioning and development, integrity and hierarchy, is noted. The spatial system of industrial production is characterized as a certain combination of resource nodes, production nodes and consumption nodes. The importance of P. Ya. Baklanov's identification of the elementary spatial system of production (ESP) as the lowest and initial link in the hierarchical structure of industrial production is shown. This elementary spatial system of production is represented by a spatial combination of resource nodes and consumption nodes connected by movement lines and directly interacting with one production node. The prospects of using the category of "potential costs field" in regional economic management are noted, in which all factors of the future location of production are measured and reflected. The features of P. Ya. Baklanov's identification and justification of the linear-nodal system (LNS) of industrial production, including individual specific enterprises, organizations and the flows of raw materials, materials and products between them, are shown. He identified also the key features of aquatic-territorial economic complexes, which encompass not only the territory but also the water areas within the economic zone.

Keywords: geosystems, territorial economic structures, industrial production system, elementary production system, potential cost field, linear-nodal systems, aquatic territorial economic complexes

For citation: Raevsky S.V. The study of territorial economic structures in the works of P. Ya. Baklanov. *Pacific Geography*. 2026;(3):5–12. (In Russ.). https://doi.org/10.35735/26870509_2026_27_1

Введение

Научные исследования П.Я. Бакланова базировались на признании факта реальности существования географических систем различного типа и ранга. В пространственной экономике подобные геосистемы, по мнению Петра Яковлевича, получают свое выражение в виде территориальных хозяйственных систем, существующих в условиях органической взаимосвязи временных и пространственных отношений в структуре производственного процесса. П.Я. Бакланов сформулировал положение, что методология системного подхода и анализа, наиболее целостно охватывающая интеграцию материальных структур, их функционирование и развитие, целостность и иерархичность, может быть эффективна для взаимосвязанного анализа развития и размещения современного промышленного производства. Впервые в науке им было обосновано, что единая структура производства существует на территории как пространственно-временная структура. А именно – любая реализация структурного звена во времени имеет свое пространственное выражение и наоборот – всякое пространственное выражение структуры достигается лишь в процессе ее реализации во времени.

При этом пространственно-временная структура целостного производственного процесса представляет собой результат пространственной дифференциации производства на основе учета закономерностей территориального разделения труда. За счет той или иной пространственной дифференциации производства при одном и том же его техническом, технологическом и экономическом содержании может быть получен различный экономический эффект. П.Я. Баклановым был сделан важный теоретический вывод, что подобная пространственная дифференциация производственной структуры и есть основное географическое содержание производства, объединяющее в себе его техническую, технологическую и экономическую составляющую. Подобный вывод представляет собой методологическую основу для реализации на практике различных форм территориальной организации производства в целях повышения эффективности хозяйственной деятельности.

Опираясь на основные положения экономико-географической школы Н.Н. Баранского [1], Н.Н. Колосовского [2] и Ю.Г. Саушкина [3], Петр Яковлевич сформулировал представ-

ление о пространственной системе промышленного производства как такого сочетания ресурсных узлов, узлов производства и потребления, связанных между собой линиями перемещения, в котором при соответствующем участии трудовых ресурсов и инфраструктуры совершается процесс воспроизводства одного или ряда однородных конечных продуктов. Таким образом, система производства – это звено между человеком и природой, которое дает продукт, удовлетворяющий конечную общественную потребность. Основное содержание систем производства, как считал П.Я. Бакланов, — это непосредственная реализация производственных взаимосвязей, включая и элементы, между которыми они реализуются в данный момент времени.

Материалы и методы

В работе использовались статьи и монографии академика П.Я. Бакланова, в которых отражены результаты его исследования территориальных хозяйственных структур. Автор отмечает важность применения академиком П.Я. Баклановым методологии системного подхода и анализа, что позволило наиболее целостно охватить интеграцию материальных структур, их функционирование и развитие, целостность и иерархичность.

Результаты и их обсуждение

П.Я. Бакланов в своих работах предложил следующее определение: система производства (СП) – это все сочетание структур, в которых (и через которые) осуществляется определенный процесс производства в течение относительно длительного периода времени, как правило, год и более [4–6]. При этом он дает очень важное замечание, что в каждый данный момент времени структуру системы образует различное сочетание элементов – узлов и линий перемещения. То есть производство в конкретный период времени процесса функционирования объединяет потребности, ресурсы, транспорт в целостную систему с определенной структурой и связями.

Существенным замечанием, сделанным П.Я. Баклановым, является то обстоятельство, что формирование (размещение) СП можно рассматривать как процесс вычленения, выделения структуры пространственных систем из интегральных геосистем с целью их совершенствования. Понятно, что формирование и функционирование СП, отмечал П.Я. Бакланов, возможно лишь при участии трудовых ресурсов и социальной инфраструктуры. Поэтому население и социальная инфраструктура (жилые здания, культурно-бытовые сооружения и учреждения) составляют необходимое условие формирования и развития СП.

Важной заслугой П.Я. Бакланова в развитии теории размещения производства является выделение им в качестве низшего и исходного звена в иерархической структуре промышленного производства элементарной пространственной системы производства (ЭСП) в виде пространственного сочетания ресурсных узлов и узлов потребления, связанных линиями перемещения и непосредственно взаимодействующих с одним узлом производства, где за фиксированное время производится определенное количество однородного продукта [7, 8]. Причем в ЭСП, подчеркивает П.Я. Бакланов, под ресурсными узлами понимаются все те предприятия (или их части, если предприятия территориально рассредоточены), в которых производится продукция, используемая в узле производства в качестве исходного материала, топлива, энергии, воды на промышленные нужды. Ресурсы понимаются в широком смысле, как набор всех основных и вспомогательных материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий на изготовление конкретной однородной продукции в узле производства ЭСП.

При этом через формирование новых ЭСП и их линейную взаимосвязь происходит горизонтальная интеграция структуры производства, в результате которой формируются отдельные «слои» линейно-узловых структур. В процессе наложения ряда ЭСП друг на

друга осуществляется вертикальная интеграция и формирование звеньев реальных структур производства, которые П.Я. Бакланов назвал узловой системой производства. Таким образом, любое локальное производственно-территориальное сочетание предприятий в одном пункте может выступать в качестве совокупного узла производства. Подобный вывод, сделанный Петром Яковлевичем, стал основой для формирования в дальнейшем основ муниципального стратегического управления в нашей стране.

Отличие выделенной П.Я. Баклановым ЭСП от подобных элементарных комплексов, предлагавшихся другими учеными (Н.Т. Агафонов [9], П.М. Алампиев [10], М.М. Паламарчук [11], А.Е. Пробст [12]), заключалось в более строгой трактовке структуры и структурных отношений, обязательности включения в нее всех ресурсных и потребительских звеньев, а также в большем внимании к пространственно-временным аспектам и иерархии. По мнению П.Я. Бакланова, ЭСП более полно заключают в себе целостные производственные звенья (безотносительно к тому или иному производственному процессу) и в этой связи, по-видимому, являются теми исходными структурными «клеточками», из которых складывается и состоит реальная территориальная «ткань» промышленного производства. В то же время ЭСП является не реальным, а условным единичным образованием, хотя и содержит в себе все структурные звенья, необходимые для конкретного воспроизводственного процесса: получения ресурсов, производства, распределения и потребления готовой продукции.

Следует подчеркнуть, что функционирование любой ЭСП всегда есть одновременное функционирование двух существенно различных структур: в первой осуществляется непосредственно производство готовой продукции (это основная структура ЭСП); вторая поддерживает основную структуру ЭСП в нормальном состоянии и представляет собой обслуживающую структуру ЭСП.

Важнейшим специфическим свойством систем производства, указывает П.Я. Бакланов, является их взаимосвязь друг с другом (переход друг в друга) в виде пространственных пересечений и совмещений их структур. Под пересечением Петр Яковлевич понимал существование структурных элементов (узлов, линий перемещения), общих для двух и более систем. Пространственное совмещение, по его мнению, это:

- сосредоточение двух и более узлов одной или нескольких систем в определенном месте, например, населенном пункте;
- совмещение двух и более линейных элементов структуры одной или ряда систем в одном участке транспортной сети.

Пространственное пересечение и совмещение есть результат вертикальной и горизонтальной интеграции структуры. В условиях современного уровня развития и форм организации промышленного производства горизонтальную и вертикальную интеграцию структуры, проявляющуюся в пространственном пересечении и совмещении структурных звеньев, можно рассматривать как особую форму концентрации производства – структурную.

Большое научно-теоретическое значение имело введение П.Я. Баклановым понятия о динамическом оптимуме ЭСП, под которым он предложил понимать такое состояние ее структуры, затраты на формирование и функционирование которого для *любого момента времени* остаются минимальными по сравнению со всеми возможными для данного момента времени вариантами [8]. Несмотря на то, что в реальности возможно лишь состояние структуры, колеблющееся в некотором интервале, более или менее близком к состоянию динамического оптимума, представление о подобном оптимуме развития территориальной структуры хозяйства очень полезно для органов управления, для поиска эффективного направления развития экономики региона.

Проблема размещения производства связана с поиском наиболее эффективного места хозяйственной деятельности (говоря современным языком – локации). Именно этот вопрос был основным, на решение которого были направлены первые исследования в области размещения промышленного производства, выполненные В. Лаунхардтом [13] и

А. Вебером [14]. П.Я. Бакланов пошел в решении данной проблемы дальше своих предшественников, введя представление о том, что каждая точка экономического пространства характеризуется величиной удельных потенциальных (возможных) затрат, необходимых и достаточных для организации в этой точке конкретного единичного производства. Пространственное распределение этой величины выразится в виде непрерывного поля, которое Петр Яковлевич назвал полем потенциальных затрат (ППЗ) [5].

Наиболее очевидная и существенная особенность ППЗ – различие интенсивности от места к месту, или пространственная дифференциация ППЗ. Если бы интенсивность ППЗ для определенного единичного производства в каждой точке была бы одинаковой, то для экономики было бы равноценным размещение данного производства в любом месте территории. В действительности для любого производства ППЗ всегда пространственно дифференцировано. Это делает необходимым поиск такой точки размещения, величина ППЗ в которой минимальна, что связано с объективным территориальным различием проявления в реальности ППЗ. Именно в дифференциации ППЗ преобразуются в единую форму, соизмеряются и отражаются все остальные факторы размещения, их территориально дифференцированное действие.

Поскольку величина ППЗ содержит полные затраты на формирование и функционирование в данной точке единичного производства, то в пространственной дифференциации ППЗ необходимо отражается изменчивость всего множества особенностей и условий, связанных с организацией этого производства в том или ином месте экономического пространства. П.Я. Баклановым на основании подобных рассуждений было выдвинуто положение о том, что дифференциация ППЗ – наиболее интегральный фактор размещения, фиксирующий в себе действие всех других факторов. В этой связи можно вспомнить высказанную в свое время лауреатом Нобелевской премии по экономике В.В. Леонтьевым мысль о необходимости создания на возможно более дробной территории системы сбора, хранения и использования различной экономической информации, которая в том числе позволяла бы получить сведения о совокупных затратах на создание определенного производства в конкретной точке экономического пространства.

Петр Яковлевич подчеркивал, что ППЗ есть явление динамическое, изменяющееся во времени в связи с развитием природно-экономической структуры в целом. Поэтому в некоторый момент времени пространственная дифференциация ППЗ определенного единичного производства может оказаться такой, что эффективнее будет перестроить, скорректировать структуру существующей системы производства. Таким образом, пространственная дифференциация ППЗ выступает не только фактором, определяющим формирование пространственных систем производства, но в известном смысле фактором, поддерживающим их структуру в рациональном состоянии.

Поскольку наиболее существенной особенностью ППЗ, как говорил П.Я. Бакланов, является его изменчивость в пространстве и во времени, в каждый данный период времени пространственное распределение всех возможных ресурсных узлов и узлов потребления конкретной готовой продукции можно считать фиксированным, неизменным. В этом случае значение ППЗ в той или иной географической точке будет характеризоваться либо одной величиной, когда возможен лишь один вариант структуры ЭСП, либо несколькими величинами, каждая из которых отражает различные варианты структуры при наличии взаимозаменяемых ресурсных узлов и нескольких возможных потребителей готовой продукции. ППЗ как бы аккумулирует в себе многие свойства территории: наличие природных, производственных и человеческих ресурсов, освоенность, развитость производственной и социальной инфраструктуры, т. е. совокупность условий, оказывающих влияние на экономическую деятельность. Тем самым в ППЗ преломляются в единую экономическую форму и соизмеряются в ней различные условия производства и отношения экономико-географического положения.

Если представить, что в некотором ареале территории ведется непрерывный расчет ППЗ для определенного производства, а положение узла производства ЭСП постоянно

соответствует минимальному значению потенциальных затрат, то тем самым ППЗ будет выступать не только фактором, определяющим оптимум структуры на некоторый начальный момент времени, но и фактором, поддерживающим оптимальное состояние системы за сколь угодно малые периоды времени, т. е. ее динамический оптимум. Инерционность реально существующих систем всегда обуславливает их определенную структурную жесткость. Поэтому они не могут перестраиваться в соответствии с изменчивостью ППЗ. Тем не менее ППЗ, постоянно фиксируя динамический оптимум системы, отражает тот теоретически рассчитанный эталон, с которым постоянно или периодически может сопоставляться фактическая структура системы. Подобный вывод, сделанный П.Я. Баклановым, является весьма актуальным для всех, кто занимается проблемами управления экономикой региона.

Петр Яковлевич отмечал, что формирование и развитие реальной пространственно-временной структуры ЭСП есть всегда в определенной степени процесс своеобразного «преломления» некоторой идеальной структуры через существующую природно-экономическую структуру интегральной геосистемы. Направления и формы такого «преломления» в основном определяются пространственной дифференциацией ППЗ.

Следующим этапом анализа П.Я. Баклановым форм размещения производства было обоснование и выделение им линейно-узловой системы (ЛУС), структура которой состоит из ресурсных и потребительских звеньев, включающих отдельные конкретные предприятия, организации и потоки сырья, материалов и продукции между ними. Кроме основной производственной, каждая ЛУС обладает обслуживающей и ресурсно-экологической структурами. В виде обслуживающей выделяются структурные звенья, которые обеспечивают формирование, нормальное длительное функционирование и реконструкцию узла производства ЛУС. Такие звенья по своему функциональному содержанию являются ресурсными. Некоторые звенья обслуживающей структуры могут включаться в систему на стадии как формирования, так и ремонта и реконструкции.

По мнению П.Я. Бакланова, важнейшее общее свойство пространственных производственных систем – их структурное подобие и обусловленная им сводимость систем высших уровней к системам низших вплоть до множества ЭСП. Структурное подобие проявляется в том, что линейно-узловая система любого типа состоит из ресурсной и потребительской структур, взаимодействующих с узлом производства. При пространственном совмещении и пересечении узлов производства двух и более ЛУС происходит одновременно то или иное совмещение и пересечение их отдельных ресурсных и потребительских структурных звеньев. В результате происходит как бы наложение структуры одной ЛУС на другую. Такое наложение Петр Яковлевич назвал вертикальной интеграцией ЛУС. Через совмещение и пересечение отдельных ресурсных и потребительских узлов разных ЛУС также происходит их взаимосвязь. Это уже будет горизонтальная интеграция ЛУС. В результате одновременно протекающих и переходящих друг в друга процессов горизонтальной и вертикальной интеграции формируются и развиваются реальные линейно-узловые современные производственные структуры.

Одним из проявлений структурного подобия пространственных систем промышленности, отмечал П.Я. Бакланов, является функциональная троичность узловых элементов. Во-первых, в системе любого уровня обязательны узлы трех функциональных типов – ресурсные, производства и потребления. Во-вторых, любой узел, за исключением узлов потребления конечной продукции в виде организаций и учреждений непроектируемой сферы, может последовательно принимать все три функциональные формы: в одной системе производства выполнять функцию ресурсного узла, в другой – узла производства и в третьей – функцию узла потребления.

Любой линейный элемент системы в сфере материального производства принимает одновременно две функциональные формы: в одну систему он входит в качестве ресурсного звена, в другую – в составе потребительского. Смена функциональной формы линейных элементов происходит одновременно со сменой функциональных форм узловых элементов системы.

П.Я. Бакланов подчеркивал, что важнейшее свойство ЛУС – это их та или иная структурообразующая способность, т. е. наличие в реальной системе некоторых элементов возможной или потенциальной структуры. Существующий и функционирующий элемент ЛУС может одновременно быть и элементом потенциальной структуры, если некоторая часть его мощности может быть переориентирована и включена в структуру другой ЛУС, в том числе и вновь формирующейся в виде ее ресурсного или потребительского звена. Изначальная линейно-узловая связность элементов потенциальной структуры с реальной позволяет в определенные периоды времени переводить отдельные потенциальные элементы в реальные структурные звенья ЛУС. Наличие в интегральных социально-экономических системах потенциальных структурных элементов ЛУС повышает их эластичность и тем самым обеспечивает гибкость и экономическую эффективность развития систем за счет возможности последовательного перевода потенциальных элементов в реальные структурные звенья ЛУС.

Эластичность производственных систем и наличие элементов потенциальной структуры, по мнению П.Я. Бакланова, составляют важнейшее условие развития инновационной экономики, поскольку благодаря этому постоянно имеется возможность внедрения новой техники и технологии в различные отдельные звенья систем и в разные сроки. Инновации в свою очередь значительно повышают эластичность ЛУС за счет внедрения новой технологии, ресурсов с лучшими технико-экономическими показателями, новой техники с большими единичными мощностями, производительностью и т.д.

По мнению П.Я. Бакланова, важнейшей закономерностью расширенного воспроизводства должно быть постоянное наличие потенциальной структуры в системах производства, в том числе резервов производственных и транспортных мощностей и средств производства. Подобный вывод в настоящее время имеет особую актуальность в условиях формирования принципиально новой стратегии структурной перестройки экономики в нашей стране.

В 1979 г. в своем докладе на XIV Тихоокеанском научном конгрессе в г. Хабаровск Петр Яковлевич обосновал необходимость формирования специфичных для Дальнего Востока России акваториальных хозяйственных комплексов [15]. По его мнению, отдельные из формирующихся здесь хозяйственных комплексов охватывают разнообразные ресурсы морей, океанов и морских акваторий. Поэтому такие комплексы по существу являются акваториальными, а соответствующие районы включают в себя не только территорию, но и ареалы акватории в пределах экономической зоны. Такие районы и их хозяйственные комплексы двухзвенные: одно звено формируется на суше, охватывая определенную территорию, а другое, взаимодействующее с ним, формируется в акватории. При этом может быть реализован дополнительный экономический эффект за счет широких возможностей комплексирования в использовании ресурсов суши и океана. Идея о формировании акваториальных хозяйственных комплексов вполне может стать сегодня теоретической основой создания международных особых экономических зон в дальневосточных районах Российской Федерации.

Заключение

П.Я. Бакланов, без сомнения, был лидером экономико-географических исследований в Российской Федерации с конца XX и в течение более двух десятилетий XXI в. Отталкиваясь от позиций районной школы Н.Н. Баранского, Н.Н. Колосовского, Ю.Г. Саушкина, Петр Яковлевич в своих книгах и статьях существенно развил основные теоретические и методологические положения классиков экономической географии и предложил современную трактовку анализа пространственных экономических процессов. Научные труды П.Я. Бакланова еще долго будут в центре внимания исследователей экономики и управления развитием территорий различного ранга.

Литература

1. Баранский Н.Н. Экономическая география. М.: Географгиз, 1960. 452 с.
2. Колосовский Н.Н. Производственно-территориальное сочетание (комплекс) в советской экономической географии // Основы экономического районирования. М.: Госполитиздат, 1958. С. 133–175.
3. Саушкин Ю.Г. Экономическая география: история, теория, методы, практика. М.: Мысль, 1973. 559 с.
4. Бакланов П.Я. Перманентность размещения промышленного производства // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 1975. № 1. С. 11–17.
5. Бакланов П.Я. Пространственные системы производства (микроструктурный уровень анализа и управления). М.: Наука, 1986. 150 с.
6. Бакланов П.Я. Территориальные структуры хозяйства в территориальном управлении. М.: Наука, 2007. 239 с.
7. Бакланов П.Я. Элементарные пространственные системы промышленного производства // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 1972. № 2. С. 30–39.
8. Бакланов П.Я. Динамические пространственные системы промышленности: Теорет. анализ. М.: Наука, 1978. 132 с.
9. Агафонов Н.Т. Территориально-производственное комплексообразование в условиях развитого социализма. М.: Наука, 1983. 188 с.
10. Алампиев П.М. Экономическое районирование СССР. Кн. 2. М.: Госпланиздат, 1963. 248 с.
11. Паламарчук М.М., Горленко И.А., Яснюк Т.Е. Минеральные ресурсы и формирование промышленных территориальных комплексов. Киев: Наукова думка, 1978. 219 с.
12. Пробст А.Е. Вопросы размещения социалистической промышленности. М.: Наука, 1971. 379 с.
13. Launhardt W. Mathematische Begründung der Volkswirtschaftslehre. Leipzig, 1885. 216 p.
14. Вебер А. Теория размещения промышленности с 35 черт. и 2 кн. / Изложил и пер. Н. Морозов, под ред. и с предисл. Н. Баранского. Ленинград–Москва: Книга, 1926. 223 с.
15. Бакланов П.Я. Территориально-акваториальные экономические районы // XIV Тихоокеанский науч. конгресс (Хабаровск, август 1979). Комитет Л: Социальные и гуманитарные науки. Москва, 1979. С. 108–110.

References

1. Baransky, N.N. Economic Geography. Geografiz: Moscow, USSR. 1960; 452 p. (In Russian).
2. Kolosovsky, N.N. Production-Territorial Combination (Complex) in Soviet Economic Geography. In *Fundamentals of Economic Zoning*. Gospolitizdat: Moscow, USSR. 1958:133–175. (In Russian).
3. Saushkin, Yu.G. Economic Geography: History, Theory, Methods, Practice. Mysl: Moscow, USSR. 1973; 559 p. (In Russian).
4. Baklanov, P.Ya. Permanence of Industrial Production Location. *Vestnik MSU. Series. 5. Geography*. 1975;(1):1–17. (In Russian).
5. Baklanov, P.Ya. Spatial Production Systems (Microstructural Level of Analysis and Management). Nauka: Moscow, USSR. 1986; 150 p. (In Russian).
6. Baklanov, P.Ya. Territorial Structures of the Economy in Territorial Management. Nauka: Moscow, Russia. 2007; 239 p. (In Russian).
7. Baklanov, P.Ya. Elementary Spatial Systems of Industrial Production. *Vestnik MSU. Series 5. Geography*. 1972;(2):30–39. (In Russian).
8. Baklanov, P.Ya. Dynamic Spatial Systems of Industry: Theoretical Analysis. Nauka: Moscow, USSR. 1978; 132 p. (In Russian).
9. Agafonov, N.T. Territorial-Production Complex Formation in the Conditions of Developed Socialism. Nauka: Moscow, USSR. 1983; 188 p. (In Russian).
10. Alampiev, P.M. Economic Zoning of the USSR. Book 2. Gosplanizdat: Moscow, USSR. 1963; 248 p. (In Russian).
11. Palamarchuk, M.M.; Gorlenko, I.A.; Yasnyuk T.E. Mineral Resources and the Formation of Industrial Territorial Complexes. Naukova Dumka: Kyiv, USSR. 1978; 219 p. (In Russian).
12. Probst, A.E. Questions of the Location of Socialist Industry. Nauka: Moscow, USSR. 1971; 379 p. (In Russian).
13. Launhardt, W. Mathematical Foundations of Volkswirtschaftslehre. Leipzig. 1885; 216 p. (In German).
14. Weber, A. Theory of Industrial Location with 35 figures and 2 books. Published and translated by N. Morozov, edited and with a foreword by N. Baransky. Kniga: Leningrad–Moscow, USSR. 1926; 223 p.
15. Baklanov, P.Ya. Territorial-aquatic economic regions. In *XIV Pacific Scientific Congress (Khabarovsk, August 1979)*. Committee L: Social and Humanitarian Sciences. Moscow, Russia. 1979:108–110. (In Russian).

Статья поступила в редакцию 03.04.2026; одобрена после рецензирования 04.05.2026; принята к публикации 15.05.2026.

The article was submitted 03.04.2026; approved after reviewing 04.05.2026; accepted for publication 15.05.2026.

Роль внешнеполитического и минерально-сырьевого факторов в становлении современного геополитического положения Северо-Востока России (XX – начало XXI в.)

Матвей Тихонович РОМАНОВ
доктор географических наук

Григорий Геннадьевич ТКАЧЕНКО
кандидат географических наук, старший научный сотрудник
tkatchenko-gri@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3462-7525>

Вячеслав Геннадьевич ШВЕДОВ
доктор географических наук, ведущий научный сотрудник
i-svg@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5075-9985>

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия

Аннотация. В статье рассматривается влияние внешнеполитического и минерально-сырьевого факторов на геополитическое положение Северо-Востока России. Из-за удаленности от основных цивилизационных центров, а также суровых природно-климатических условий он долгое время находился вне мирового геополитического процесса. Но со временем этот регион все более вовлекался в межгосударственные отношения. Это происходило с 20-х гг. XX в., когда началась разведка огромного и разнообразного минерально-ресурсного потенциала Северо-Востока, а также обозначилась перспектива звена кратчайшего морского пути между Атлантическим и Тихим океанами вдоль его побережья. Помимо этого, Российская империя, а позднее и Советский Союз оказались в идеологическом противостоянии с внешними соседями по региону – Японией, США, Великобританией, представленной ее доминионом – Канадой. В последовательности событий, которые отражали эту ситуацию, можно выделить несколько этапов. Они различаются по своему характеру в зависимости от внутренних потребностей страны, ее технических возможностей, а также от проблем общемировой, региональной и двусторонней геополитической обстановки. Их преемственность состоит в тех усилиях, которые предпринимались СССР, а затем постсоветской Россией при отстаивании своих интересов на крайнем северо-восточном рубеже в условиях практически не прекращающегося внешнего давления. В этой связи отмечено, что на современном этапе Северо-Восток стал регионом максимального расширения суверенных прав страны в акваториях Тихого и Северного Ледовитого океанов, и в дальнейшем его значение в экономике и обороноспособности России будет только возрастать.

Ключевые слова: геополитическое положение, Северо-Восток России, минерально-сырьевые ресурсы, территориальный и акваториальный суверенитет, межгосударственные отношения

Для цитирования: Романов М.Т., Ткаченко Г.Г., Шведов В.Г. Роль внешнеполитического и минерально-сырьевого факторов в становлении современного геополитического положения Северо-

Original article

The role of foreign policy and mineral resource factors in shaping the modern geopolitical situation in Northeast Russia (XX – early XXI centuries)

Matvey T. ROMANOV
Doctor of Geographical Sciences

Grigory G. TKACHENKO
Candidate of Geographical Sciences, Senior research associate
tkatchenko-gri@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3462-7525>

Vyacheslav G. SHVEDOV
Doctor of Geographical Sciences, Leading research associate
i-svg@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5075-9985>

Pacific Geographical Institute of the FEB RAS, Vladivostok, Russia

Abstract. The influence of foreign policy and mineral resource factors on the geopolitical situation of Northeast Russia is considered. Due to its remoteness from major centers of civilization, as well as harsh natural and climatic conditions, it remained outside the global geopolitical process for a long time. However, over time this region became increasingly involved in interstate relations. This situation became especially evident in the early 20th century, This was since the beginning of the twentieth century, when exploration of the vast and diverse mineral resource potential of the Northeast began, and the prospect of laying of the shortest sea route along its coast between the Atlantic and Pacific Oceans emerged. Furthermore, the Russian Empire, and later the Soviet Union, found itself in ideological confrontation with its external neighbors in the region – Japan, the United States, and Great Britain (represented by its dominion, Canada). Several stages can be identified in the sequence of events that reflected this situation. They vary in depending on the country's internal needs, its technical capabilities, as well as the problems of the global, regional and bilateral geopolitical environment. At the same time, their continuity lies in the efforts that the USSR, and then post-Soviet Russia, undertook in defending their interests on the extreme northeastern border in the face of virtually constant external pressure on it. In this regard, it was noted that at the present stage, the Northeast has become a region of maximum expansion of the country's sovereign rights in the waters of the Pacific and Arctic Oceans, and its importance in the economy and defense capability of Russia will only increase in the future.

Keywords: neopolitical position, Northeast of Russia, mineral resources, territorial and marine sovereignty, interstate relations

For citation: Romanov M.T., Tkachenko G.G., Shvedov V.G. The role of foreign policy and mineral resource factors in shaping the modern geopolitical situation in Northeast Russia (XX – early XXI centuries). *Pacific Geography*. 2026;(3):13–27. (In Russ.). https://doi.org/10.35735/26870509_2026_27_2

Введение

Геополитическое положение – категория многофакторная, ранее рассматривалось в ряде крупных научных трудов [1, 2], в том числе в работах М.Т. Романова [3, 4]. В данной публикации оно рассмотрено по отношению к Северо-Востоку России, который ранее не достаточно затрагивался геополитическими исследованиями. При этом освещена роль двух основных (по мнению авторов) для рассматриваемого региона факторов – его внешнеполитического положения и минерально-сырьевого потенциала.

Понятие «Северо-Восток России» встречается в научной литературе не часто. Но в ряде работ выдвигаются аргументы в пользу идентификации его как отдельного региона с хорошо выраженными характеристиками естественно-природной, ресурсной и этнокультурной среды, размещения и специализации производительных сил [5]. Изложенный в ряде научных трудов взгляд позволяет определить Северо-Восток как территорию, расположенную к востоку от Верхоянского и Юдомского хребтов, с севера омываемую Восточно-Сибирским и Чукотским морями, с востока – Беринговыми проливом и морем, с юго-востока – Тихим океаном, с юго-запада – Охотским морем [6, 7] (см. рис.).

Основной географической характеристикой региона является его приморско-приграничное географическое положение. В этой связи авторы согласны с мнением тех исследователей, которые полагают, что каждый тип положения (приморское и приграничное) в историческом аспекте оказывал влияние на формирование территориально-хозяйственных структур [8]. Соответственно такие данности региона, как его четко выраженная континентальная изолированность, широкий акваториальный «фасад» на стыке двух океанов, удаленность от центра страны, экстремальные условия жизнедеятельности человека [9], наложили отпечаток на все остальные характеристики региона.

Перечисленные обстоятельства указывают на сложность проведения комплексной характеристики геополитического положения Северо-Востока России. Очевидно, что эта проблема имеет поэтапное решение. Отдельные ее аспекты получили достаточно подроб-

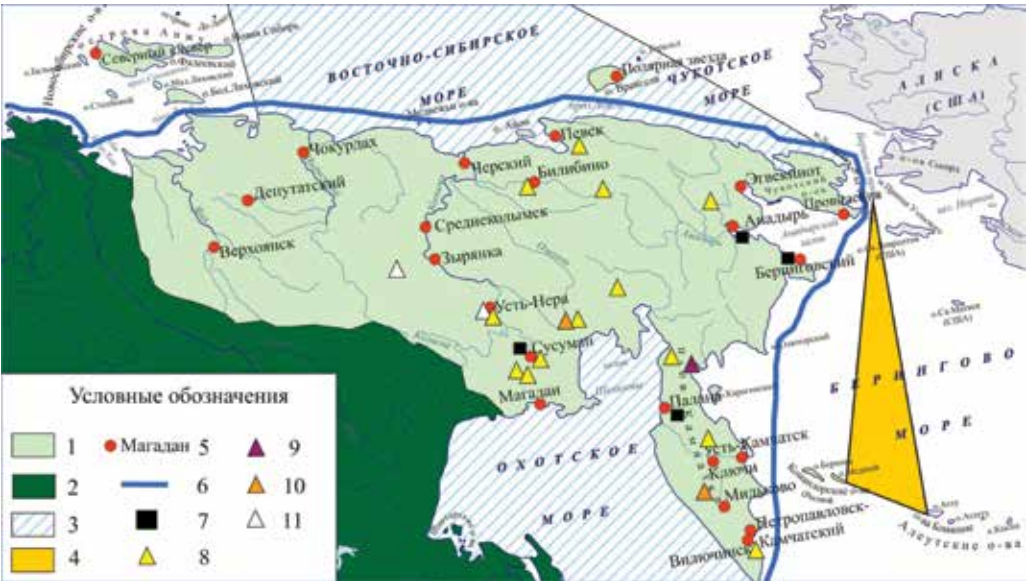


Рис. Основные характеристики современного геополитического положения Северо-Востока России

1 – Северо-Восток России; 2 – остальная территория России; 3 – расширение суверенных акваториальных прав РФ; 4 – утраченный спорный сектор Берингова моря; 5 – опорные пункты; 6 – Северный морской путь. Добыча минеральных ресурсов: 7 – уголь; 8 – золото и серебро; 9 – платина; 10 – цветные металлы; 11 – сурьма

Fig. The main characteristics of the current geopolitical situation in Northeast Russia

ное освещение, например, вопросы геополитического значения для этого региона транспорта и условий жизнедеятельности населения [10, 11]. При этом относительно слабо рассмотрены проблемы влияния на его геополитическое положение внешнеполитического и минерально-сырьевого факторов, значение которых в настоящее время приобретает все больший вес [1, 12].

Цель публикации состоит в рассмотрении перемен в геополитическом положении Северо-Востока России с начала XX (после 1917 г.) до начала XXI в., что определило постановку и решение следующих задач: 1) раскрыть роль, которую в данных переменных сыграли внешнеполитический и минерально-сырьевой факторы; 2) выделить на этой основе этапы изменения геополитического положения Северо-Востока страны.

Материалы и методы

Материалами исследования послужили отдельные теоретические положения отечественных школ геополитики и социально-экономической географии, избранные статистические и обширные фактологические данные из источников, освещающих международные отношения в XX – начале XXI в. Примененные методы: изучение источниковой базы, систематизация собранных сведений, хронологический, сравнительный, выборочно-статистический, историко-географический и системный анализ.

Результаты и их обсуждение

В течение длительного времени крайний Северо-Восток Евразии находился вне мировых геополитических процессов, и даже начавшееся со второй половины XVII в. его включение в состав Российского государства первоначально не внесло существенных перемен в это состояние [13]. Изменения в нем произошли по итогам открытий Камчатских экспедиций (1724–1729 гг. и 1733–1743 гг.). Благодаря им стали широко известны сведения о колоссальном биоресурсном потенциале Северной Пацифики и прилегающих к ней земель, а также о наличии пролива между Северным Ледовитым и Тихим океанами. Это обозначило перспективу (к тому времени пока лишь умозрительную) возможности прохода морем по кратчайшему пути из Европы в Восточную Азию. Рост интереса к Арктике европейских стран был связан в том числе и с обеднением их ресурсной базы, активной практикой колониализма и идеями расширения жизненного пространства. В то же время не только ресурсный потенциал Арктики оставался не изученным, но и сама ее территория и акватория по-прежнему представляла собой в некоторой степени Terra Incognita – неизведанное пространство, освоение которого могло принести пока остававшиеся неизвестными выгоды.

В результате закрепления ведущих держав на подступах к данному региону здесь стала формироваться геополитическая обстановка. Ее основной характеристикой явилось достаточно откровенное стремление конкурирующих государств использовать еще относительно слабые позиции России на Северо-Востоке с целью осуществить здесь территориальные приобретения за ее счет. Попытки в этом направлении предприняли Швеция (1790 г.), Великобритания и Франция (1854 г.), Япония (1905 г.). Однако их военные операции завершились поражениями. Вместе с тем было очевидно, что вероятность повторения подобных попыток в будущем только возрастет, и России придется предпринимать новые усилия по защите своих геополитических интересов на дальнем северо-восточном рубеже. Столетний ход событий с начала XX по начало XXI в. подтвердил это ожидание. Формирование глобальной геополитической обстановки за это время протекало под знаком следующих определяющих данностей:

– обострением борьбы за обладание природными ресурсами, разработка которых из-за истощения традиционных мест добычи все более смещалась на труднодоступные терри-

тории и в океанскую акваторию, а также развитием технологий, сделавших этот сдвиг возможным;

- усилением конкуренции за контроль над важнейшими транспортными путями;
- ужесточением борьбы идеологий, которые нередко исключали возможность самого существования противоположной стороны, обретали форму государственных доктрин и резко контрастировали в спектре от концепций построения общества социального равенства до попыток воплощения человеконенавистнических теорий;

- прорывом в области развития вооружений, позволившим создавать военную инфраструктуру и вести боевые действия на географическом пространстве, ранее для этого мало- или вовсе непригодном.

Разумеется, что в разных частях мирового геопространства эти тенденции приобретали свою специфику, которая имела особое значение для крупных стран из-за разнообразия географических условий в их пределах. Это непосредственно коснулось России, а позднее – Советского Союза и РФ. Одним из вызовов уже первых лет существования СССР стала проблема сохранения своей северо-восточной окраины в достаточно непростых для этого геополитических условиях. В данном процессе достаточно отчетливо различимы несколько сменявших друг друга этапов, которые были выделены на основе анализа внешнеполитической обстановки и значения минерально-сырьевого фактора (см. табл.).

Предвоенный этап (20–30-е гг. XX в.). Северо-Восток России не испытал на себе разрушительных последствий Гражданской войны в стране, произошедшей после революции 1917 г., что сыграло важную роль в связанных с ним планах молодого советского правительства. Одним из своих приоритетов оно считало ускоренную индустриализацию в условиях враждебного внешнего окружения [14]. Но объемы необходимых для этого известных источников минерального сырья представлялись недостаточными, что требовало организовать поиск новых месторождений, в том числе на не изученном в этом отношении Северо-Востоке. Однако здесь Советский Союз столкнулся с серьезными вызовами [15].

Первый состоял в необходимости укрепления суверенных прав в Заполярье. В 1924 г. о-в Врангеля, оккупированный Канадой, был объявлен частью территории СССР. Тогда же на Чукотке, фактически попавшей из-за своего полунезависимого статуса под влияние купцов из США, были созданы включенные в советскую административную систему родовые советы, что полностью интегрировало ее в состав страны. Кроме того, Советский Союз принял участие в инициированном рядом приполярных стран (Канада, Норвегия, Дания) секторальном разделе Арктики, объявив своим владением пространство от Северного полюса до крайних точек государственной границы с координатами 32°04'45'' ВД и 168°49'30'' ЗД.

Другой вызов предполагал изучение минерально-ресурсного потенциала Северо-Востока. Решающим шагом в этом направлении стала генеральная Индигирская экспедиция С.В. Обручева в 1926 г., выявившая богатые месторождения золота, олова, вольфрама, ртути. Некоторые из них (например, Иультинское олово-вольфрамовое) оказались крупнейшими в мире. Для их освоения в 1931 г. был создан трест «Дальстрой», последующее подчинение которого НКВД указало на стратегическое значение обнаруженного минерального сырья. В регионе были заложены прииски, обогатительные комбинаты, возведена в 1929 г. «столица Колымского края» – поселок (с 1939 г. – город) Магадан. Таким образом, в это время на Северо-Востоке начал формироваться один из важных в стране центров горнодобывающей промышленности. Потребовалось установление современной, ранее ограниченной лишь гужевым сообщением, его транспортной связи с остальной территорией страны. В 1932 г. началось сооружение грунтовой автомобильной трассы «Колыма» между г. Якутск и г. Магадан, а также состоялся проход ледокола «Александр Сибиряков» за одну навигацию от г. Архангельск до г. Анадырь. Таким образом, было открыто движение по Северному морскому пути (СМП). Для его обслуживания были возведены порты Провидения и Певек, реконструирован порт г. Петропавловск-Камчатский

Таблица

Этапы влияния внешнеполитического и минерально-ресурсного факторов на геополитическое положение Северо-Востока России
Table. The stages of the influence of foreign policy and mineral resource factors on the geopolitical situation of the Northeast of Russia

Этап	Перспективы и угрозы			Итог
	Потенциальные	Фактические		
1. Предвоенный	Восстановление суверенных прав страны в дореволюционных границах. Угроза агрессии со стороны Японии. Первичное изучение минерально-сырьевого потенциала региона.	Декларация о повторном включении в состав страны о. Врангеля (1926 г.). Начало формирования оборонного потенциала региона. Обнаружение крупных запасов полезных ископаемых.	Взятие под охрану государственной границы по контуру 1917 г. Создание сухопутной воинской группировки, системы укрепрайонов, стратегических путей сообщения (Северный морской путь, трасса Колыма). Ввод в эксплуатацию месторождений угля, олова. Начало «Золотой Колымы» с 1931 г.	
2. Военный	Взаимодействие с союзниками по антигитлеровской коалиции. Риск вовлечения в боевые действия между США и Японией. Японские вооруженные провокации. Работы по расширению базы горнодобывающей промышленности.	Создание основного канала получения помощи по программе Ленд-лиз. Подготовка к вступлению в войну против милитаристской Японии. Открытие новых месторождений полезных ископаемых и запуск новых предприятий горнодобычи.	Тесное военное сотрудничество с США. Проведение Курильской операции Советско-японской войны (август – сентябрь 1945 г.). Создание на Северо-Востоке крупного района горнодобывающей промышленности страны.	
3. Холодной войны	Прямое военное противостояние с США. Сохранение специализации региона на добыче стратегически важного минерального сырья.	Развертывание в регионе систем ракетных вооружений, авиационных соединений, военно-морской группировки. Дальнейшее наращивание мощностей горнодобывающей промышленности.	Достижение регионального силового паритета с США. Пиковый объем добычи минерального сырья.	
4. Временной деградации	Сдача ранее приобретенных геополитических позиций по всем направлениям. Ожидание проблем в связи с резким переходом от плановой к рыночной модели хозяйствования.	Фактическая капитуляция перед внешним давлением. Закрепление большинства ведущих предприятий. Нарастание кризисных явлений в горнодобывающей отрасли. Приход иностранного капитала, взятие им под контроль многих предприятий горнодобычи.	Демонтаж большинства элементов оборонной инфраструктуры. Утрата части суверенного государственного пространства в Беринговом море. Обрушение объемов горнодобывающего производства. Вывод за рубеж основной прибыли от добычи ресурсов.	
5. Восстановления и обновления геополитических позиций	Переход России к новому независимому внешнеполитическому курсу и восстановлению экономики. Повышение значимости Северо-Востока России в программном подходе к развитию Арктики и отдаленных территорий РФ.	Принятие мер по восстановлению обороноспособности Северо-Востока. Акваториальные приобретения в Охотском море и Арктике. Работы по расширению номенклатуры добычи и переработки минерального, в т.ч. стратегического сырья в регионе.	Достижение регионального силового превосходства над США. Восстановление значения Северо-Востока в добычающем секторе экономики страны.	

(до 1924 г. – Петропавловск). В 1935 г. трасса СМП была продолжена до г. Владивосток, а в 1939 г. – дополнена морским маршрутом Владивосток – Магадан.

В то же время первая половина XX в. была отмечена агрессивностью внешнего политического курса Японии, нацеленной на обширную территориальную экспансию, в том числе за счет Советского Союза. План наступательной войны против СССР был разработан в 1928 г. В соответствии с ним захват советского Северо-Востока был осуществлен одной пехотной дивизией при поддержке флота в течение месяца [16]. Для СССР, в свете этой перспективы, единственным путем удержания региона стало экстренное создание в его пределах мощного оборонного потенциала. В 1932 г. в ключевых пунктах региона были возведены укрепленные районы: Уэленский, Дежнёвский (на Чукотке), Магаданский, Петропавловский, на мысе Лопатка. На Камчатке к 1941 г. была развернута 16-я армия; на Колыме, помимо охранного контингента лагерей, дислоцирован 22-й стрелковый полк НКВД. В Охотске военную подготовку прошли 70 групп территориальной самообороны. Совокупный результат этих мер оказался столь эффективен, что заставил японских военных из-за прогнозируемых неприемлемо высоких потерь исключить Северо-Восток из возможных направлений первоочередного вторжения в СССР.

Военный этап (конец 30-х – середина 40-х гг. XX в.) внес коренные перемены в геополитическое положение Северо-Востока, непосредственной их причиной стала Великая Отечественная война Советского Союза и его косвенное и прямое участие в событиях Второй мировой войны на Тихоокеанском театре военных действий. Неизмеримо возросло значение региона как базы добычи и транспортировки по Северному морскому пути стратегически важного минерального сырья. В непосредственной близости от него развернулось американо-японское военное противостояние, а затем он стал важным звеном пространственного взаимодействия в рамках антигитлеровской коалиции. Наконец, для Северо-Востока перманентно сохранялась угроза нападения со стороны Японии, которая была устранена советской операцией по занятию Курильских островов в августе–сентябре 1945 г. Следует заметить, что основа сформированной на данном этапе важности геополитического положения региона сохранилась, с известными видоизменениями, до настоящего времени.

За 1941–1944 гг. поступательно росло значение Северо-Востока как важного района сырьевой базы страны. На Чукотке и Колыме было сдано в эксплуатацию 80 новых месторождений золота, а его добыча составила 360,2 т (55,5 % общесоюзного производства). Помимо действовавших ранее, начали давать продукцию шесть новых оловянных рудников, три – по разработке вольфрамовой и два – кобальтовой руд. Суммарный объем добытого за указанные годы олова в пересчете на чистый металл составил 26,4 тыс. т, трехоксида вольфрама – 280 т, серебра – 36 т [17, 18].

В годы Великой Отечественной войны геополитическое положение Северо-Востока на практике «сработало» с исключительно важной стороны. Он стал прямым и основным каналом доставки в СССР грузов по программе Ленд-лиз. За 1941–1945 гг. порт г. Петропавловск-Камчатский по морским трассам из США получил 2,6 млн т грузов (47,1 % всего весового объема ленд-лиза) [19]. С 1942 г. начала действовать авиатрасса Алсиб, по которой из Фэрбенкса в СССР было поставлено 7908 американских боевых самолетов (42,8 % от общего числа их поставок в Красную армию) [20]. На Чукотке и в Магаданской области ее обслуживали семь аэродромов, два из которых (Уэлькаль и Сеймчан) были базовыми.

Развязав войну на Тихом океане, Япония тем не менее не решилась вступить в прямое военное столкновение с Советским Союзом. Но ее агрессия против союзных СССР стран развернулась в непосредственной близости к его границам на Северо-Востоке: в 1942 г. японцы захватили западные острова Алеутского архипелага – Кыска и Атту, а в 1943 г. их флот вступил в сражение с американской эскадрой близ Командорских островов. Все это создавало потенциальную угрозу для региона, высокий уровень которой поддерживали частые провокации. С 1941 по 1944 г. японские военные потопили восемь шедших в г. Пе-

тропавловск-Камчатский советских судов, еще 13 без вести пропали по пути с Аляски на Камчатку.

Проявление советской стороной сдержанности объяснялось огромным отвлечением ее сил на борьбу с нацистской Германией и прикрытие государственной границы от Приморья до Забайкалья. Кроме того, недостаточный уровень транспортного освоения Северо-Востока препятствовал оперативному наращиванию здесь воинского контингента и его необходимого для ведения боевых действий материального обеспечения.

Следует учитывать, что военно-географическое положение Северо-Востока было в целом уязвимым. От основной, насыщенной промышленным и демографическим потенциалом, территории СССР его отделяло огромное, труднодоступное, предельно слабо освоенное и заселенное пространство Восточной Сибири и Дальнего Востока. Его связь со страной поддерживалась по преимуществу авиарейсами и навигацией по СМП; движение судов из г. Владивосток было максимально осложнено военно-морскими силами потенциального противника. Силловые возможности ближайшего союзника, США, на Аляске также были весьма ограничены, и потому рассчитывать на его помощь в критической ситуации не приходилось. Принадлежавшие же Японии Курильские острова подступали к советскому Северо-Востоку в районе Камчатки вплотную. На них были развернуты две пехотные дивизии, пехотная бригада, танковый полк, полк ПВО, размещено 600 боевых самолетов. Общая численность личного состава этой группировки превышала 80 тыс. человек. Ее тылом служила примыкающая к ней метрополия с огромным военно-промышленным производством и многочисленным населением. Оперативным направлением для атаки японских ВМС и ВВС служил весь периметр побережья Охотского моря от Татарского пролива до мыса Лопатка.

Однако по мере развития успехов Красной армии на Европейском театре военных действий и в связи с обязательством участия в войне с Японией, взятым СССР на конференции союзных держав в г. Тегеран (1943 г.), Северо-Восток стал местом формирования усиленной армейской группировки. К концу 1944 г. в его пределах были сосредоточены: стрелковые дивизия и полк, авиационная дивизия и отдельный бомбардировочный полк, гаубичный полк и батальон морской пехоты. Порт г. Петропавловск-Камчатский был частично переоборудован под размещение боевых судов, число которых составило 60 единиц. Этих сил оказалось достаточно для полной ликвидации японских вооруженных сил на Курильских островах в августе – сентябре 1945 г. и планирования занятия Хоккайдо, которое было отменено из-за дипломатического противодействия США.

Этап холодной войны (середина 40-х – начало 80-х гг. XX в.). Можно лишь предполагать, какие изменения по окончании Второй мировой войны претерпело бы геополитическое положение региона при сохранении конструктивных отношений между СССР и его бывшими союзниками. Но давние идеологические, политические, а также экономические противоречия между ними, отошедшие на второй план в годы борьбы с общим врагом, вновь заявили о себе в полную силу. Это привело в 1946 г. к началу холодной войны – геополитического противостояния глобального масштаба, балансирования на грани вооруженного столкновения. Северо-Восток, в силу своего географического положения, оказался напрямую противопоставлен такому мощному потенциальному противнику, как оснащенная оружием массового уничтожения армия США.

На Аляске после войны было сохранено восемь действующих военных баз, в том числе авиационные в г. Анкоридж и г. Фэрбенкс, развернуты две бригады 15-й пехотной дивизии, станции радиолокационного (позже – спутникового) слежения. В 1949 г. в Форт-Гирли была создана база ракет шахтного базирования. С 1947 г. американские самолеты, обладая на тот момент техническим превосходством над советскими боевыми машинами, проводили разведывательные полеты над территорией СССР на Северо-Востоке. Но это не оставалось безответным. Советский Союз не мог допустить превращения своего Северо-Востока в потенциальный «коридор вторжения» в случае войны. В это время продолжал расти минерально-ресурсный потенциал региона. Благодаря интенсивным геоло-

гическим работам с 1951 по 1959 г. на Чукотке и во многих других районах Дальнего Востока были разведаны новые крупные запасы золота, олова, вольфрама, молибдена, урана и других важных в стратегическом отношении полезных ископаемых. Возможная потеря контроля над набирающим вес минерально-ресурсным потенциалом в результате внешней агрессии была бы недопустима. Для защиты региона сюда в 1947 г. из Восточной Европы были переброшены части, составившие 14-ю (на Чукотке) и 17-ю (на Камчатке) армии. Но их пехотные и танковые соединения представлялись недостаточным заслоном перед технически превосходившим их вероятным противником. Поэтому оборонный потенциал Северо-Востока уже к 1955 г. был обновлен в соответствии с требованиями времени.

На смену армиям первичного послевоенного базирования пришли соединения стратегической авиации в городах Певек и Анадырь, ракетные части различного целевого назначения в поселке Гудым и на Первом Магаданском перевале. Бухты Крашенникова (Вилучинск) и Бечевинская на Камчатке стали местами дислокации мощной военно-морской группировки. Решающее значение в усилении геополитического веса Северо-Востока имели:

- сооружение в 1958 г. Анадырского аэродрома для приема и обслуживания стратегических бомбардировщиков, размещение полка истребительной авиации и оперативного вертолетного соединения;

- создание с 1959 г. единственного в мире атомного ледокольного флота, позволившего увеличить срок навигации по морям Арктики с 3 до 11 месяцев. Составившие его суда имели двойное назначение, поскольку помимо выполнения гражданских функций были способны нести пусковые установки ракетного вооружения.

Модернизация оборонного потенциала означала качественно новую грань в геополитическом положении Северо-Востока. Размещенные здесь современные вооружения располагали кратчайшим радиусом достижения Гавайских островов и западных континентальных штатов США. Основной базой советских вооруженных сил в регионе стала база подводных лодок в г. Вилучинск. Советские подводные лодки получили возможность патрулировать всю акваторию Тихого океана. Таким образом, сосредоточенные на Северо-Востоке силовые возможности придали территориальному присутствию СССР в Пацифике мощную военно-политическую составляющую, позволили косвенно повлиять на исход Корейской (1950–1953 гг.) и Вьетнамской (1964–1975 гг.) войн.

На данном этапе за Северо-Востоком закрепилась специализация на производстве стратегического сырья, в том числе и для оборонно-промышленного комплекса. К середине 1970-х гг. пика достигла добыча олова (5,4 тыс. т концентрата) и золота (83,2 т). Однако к середине 1980-х годов добыча золота сократилась почти вдвое, а олова и вольфрама к началу 1990-х – прекращена полностью.

Отличительной особенностью внешнеполитического фактора геополитического положения Северо-Востока на этом этапе стало пограничное соседство с основным потенциальным противником СССР – США. Предпринятые советской стороной меры позволили установить региональный силовой паритет, основанный на нежелании обострять обстановку в зоне прямого соседства друг с другом. В последнее десятилетие данного этапа в восточной части АТР возник многополярный треугольник ядерных держав США – СССР – КНР. При этом Соединенные Штаты, потерпев поражение во Вьетнамской войне, приступили к строительству новой модели своей гегемонии в АТР, начав экономическое сближение с Китаем. Оно привело к заключению между ними дипломатических отношений в 1979 г. Между США и СССР наступил период временного потепления политических отношений (до начала 1980-х гг.), известный как «разрядка». Следствием таких геополитических сдвигов на Юго-Востоке АТР стало состояние относительной геополитической стабильности в Северной Пацифике. Соперничество двух держав сосредоточилось в виде прокси-противостояния в иных регионах мирового международного пространства.

Этап временной деградации (начало 80-х гг. XX – начало XXI в.). В начале 1980-х гг. на фоне кризиса власти и нарастающих внутренних социально-экономических проблем СССР резко усилилось на него давление со стороны США. В совокупности это привело к катастрофе для геополитического положения страны.

На Северо-Востоке региональный силовой потенциал, служивший одним из передовых рубежей обороны страны, действенным инструментом сдерживания агрессии против нее и обеспечения ее влияния в бассейне Тихого океана, был добровольно сокращен, а в некоторых случаях ликвидирован. Сохранилась лишь ослабленная военно-морская база Вилучинск и аэродром в г. Анадырь, деятельность которого была фактически сведена к гражданскому функционалу. В это же время под различными (как правило, благовидными) предложениями развернулась деструкция экономической сферы, что особенно отразилось на горнодобывающей промышленности Северо-Востока. Экономические условия развития минерально-сырьевого комплекса претерпели существенные трансформации. Результатом этого стало уменьшение потенциала; изменение структуры региональной минерально-сырьевой базы в связи с ее переоценкой в рыночных условиях и кризисом воспроизводства; неоднозначная динамика объемов и структуры производства в горнодобывающем комплексе; территориально-отраслевые, организационные, институциональные изменения [21].

В целом признаком явного снижения геополитического статуса стало возросшее результативное давление США на все более впадающего в зависимость от западных «кредитов» руководство СССР. Одним из важнейших региональных итогов этого можно считать заключенное в 1990 г. соглашение о передаче США 46,3 тыс. км² спорной акватории в Беринговом море по сделке, оставшейся в истории под названием Шеварнадзе–Бейкера («Соглашение между СССР и США о линии разграничения морских пространств»). Эта потеря имеет не только пространственное измерение. В зоне утраченного шельфа имеются месторождения углеводородов, оценочные запасы которых составляют более 200 млрд м³ газа и около 200 млн т нефти, поля нагула минтая и лососевых, способных давать ежегодный улов в 0,5 млн т.

В итоге к началу XXI в. регион находился в тяжелой социально-экономической депрессии и стал сильно уязвим, что в дальнейшем явилось причиной развития негативных геополитических тенденций. Используя упомянутую выше сделку (она не была ратифицирована ни Верховным Советом СССР, ни парламентом Российской Федерации) как прецедент, США отказались признать правомерность принятого в 1984 г. постановления Совета министров СССР о включении СМП в состав внутренних вод Советского Союза по историческим причинам. Основанием послужили ссылки на положение о свободе судоходства в арктических водах в морском праве Соединенных Штатов и мнение о необходимости установления для Арктики межгосударственного нейтрального статуса наподобие того, который действует применительно к Антарктиде. Кроме того, штат Аляска в 1999 г. обратился в Конгресс США с резолюцией HJR-27 с претензией на обладание российскими островами Врангеля, Геральд, Беннетта, Генриетты в Северном Ледовитом океане и островами Сивуч, Калан и Медный в Беринговом море. То есть по результатам изменения геополитического положения на данном этапе перед Россией ясно обозначилась перспектива серьезных акваториальных потерь.

Этап восстановления и обновления геополитических позиций (с начала XXI в. – настоящее время). Этот процесс напрямую затронул и Северо-Восток [22], чему способствовали изменения, произошедшие в высших структурах отечественной власти на рубеже XX–XXI вв. Оказавшись в ситуации полураспада страны (события двух Чеченских войн), новое руководство государства приняло решение о приоритетных направлениях развития. Важнейшим из них стало отстаивание национальных интересов, в том числе «разворот на Восток» [23]. Параллельно этому шло решение социально-экономических проблем.

Постепенно отходя от кризиса 1990-х гг., государство выстраивает стратегию нового внешнеполитического взаимодействия. Став одним из инициаторов многополярного

миропорядка, обозначив свои национальные интересы и намерение их отстаивать (речь В.В. Путина на Мюнхенской конференции в 2007 г.), Россия превратилась в объект новой фазы давления со стороны главного архитектора англо-саксонской глобализации – США, возродивших де-факто состояние холодной войны. Обнародованная в 2024 г. новая военная стратегия Соединенных Штатов в Арктике изложена в конфронтационном ключе, она впервые обозначила этот регион как стратегически жизненно важный [24]. Эта доктрина мотивирована необходимостью сдерживания России, которая, по мнению американских военных, в последнее время превзошла США в высоких широтах в плане как военнотехнического оснащения, так и создания оборонной структуры [25]. Причем наиболее очевидным это преобладание представляется в восточном секторе Арктики и Северной Пацифике – в зоне прямого пространственного соприкосновения России и США, которые могут рассчитывать здесь на помощь лишь такого относительно слабого партнера по НАТО, как Канада. Очевидно, что это обстоятельство служит причиной проецирования США на бассейн Тихого океана своего опыта блоковой политики, примером которой служит блок НАТО в Северной Атлантике. Но поскольку большинство их союзников по блоку не желает (или не имеет возможности) распылять свой силовой потенциал, перенося часть его на другой край планеты, США предпринимают усилия для создания нового «тихоокеанского НАТО». В 2021 г. было анонсировано создание для противодействия усилению России, Китая и КНДР блока AUKUS, в который помимо самих Соединенных Штатов вошли Великобритания и Австралия. В настоящее время ведется активная работа по привлечению в него Канады, Новой Зеландии, Японии и Южной Кореи.

В этих условиях Россия возрождает свою экономическую и оборонную инфраструктуру в Арктике. Значение Северо-Востока вновь возросло, что отразилось в принятии в 2009 г. правительственного документа «Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу» [26]. Согласно его положениям, было выполнено решение по реконструкции военно-морской базы в г. Вилучинск и базы стратегической авиации в г. Анадырь, создание военных баз на островах Котельный («Северный клевер») и Врангеля («Полярная звезда»), многоцелевого авиасоединения в бухте Елизава, развертывание в регионе сети новых средств противовоздушной обороны, радиолокационного и спутникового слежения, акустической разведки, воссоздание дивизии морской пехоты и приняты многие другие меры по укреплению обороноспособности региона.

Помимо военного фактора, современный геополитический потенциал во многом обеспечивается тем, что Северо-Восток входит в число важнейших мест сосредоточения в России запасов редкоземельных, цветных и благородных металлов, а его разведанный минерально-сырьевой потенциал ежегодно пополняется новыми месторождениями и увеличением объемов доказанных минеральных ресурсов. Особое значение приобретают запасы углеводородов на шельфе Охотского и Чукотского морей [27].

Важность усиления геополитического положения Северо-Востока выражается в том, что он стал «исходной точкой» наибольшего за последние полтора века расширения суверенных прав России. В 2014 г. Комиссия ООН по границам континентального шельфа удовлетворила ее заявку по признанию Охотского моря внутренним, полностью перешедшим под российскую международно-правовую юрисдикцию со всеми вытекающими из этого выгодами экономического и оборонного плана (см. рис.). Это крупнейшее единовременное акваториальное присоединение России. И ее возможности в этом направлении в регионе далеко не исчерпаны.

Поскольку ранее заявленный раздел Арктики на сектора не соответствует международному праву, Россия в 2001 г. подала заявку на признание ее правообладания на часть материкового шельфа Северного Ледовитого океана, в том числе по подводному хребту Менделеева, тянущегося на 860 км от о-ва Врангеля к Северному полюсу. Предварительно была проведена большая научная работа по доказательству законности таких прав. В результате эта заявка была удовлетворена комиссией ООН по морскому шельфу в 2023 г.

Эти действия направлены на расширение жизненного пространства страны и обеспечение благосостояния будущих поколений за счет вод и недр Мирового океана. Круг получаемых от этого преференций широк и лишь дополняется новыми составляющими. Так, глобальные климатические изменения позволили с 2010 г. проводить суда по СМП без ледокольного сопровождения. То есть представления XVI в. о коротком транс-океаническом пути через Северо-Восточный проход становятся в настоящее время реальностью [10].

Надо отметить, что совершившиеся подвижки по расширению суверенных прав России за счет морских акваторий стали возможны благодаря тому, что она обладает материковой базой для их правового обоснования и практической реализации – своим Северо-Восточным регионом, имеющим выход к Северному Ледовитому и Тихому океанам. По сути обладание им заложило географическую основу правомерности обоснования и обеспечения практической возможности для обширных акваториальных приобретений. Это создало перспективу получения доступа к новым источникам природных ресурсов водной толщи и шельфа Охотского и арктических морей, создания дополнительных транспортных маршрутов и других пространственных резервов для социально-экономического развития и укрепления обороноспособности страны.

Заключение

Геополитическое положение является переменной категорией. В целом оно определяется как «географическое положение страны или ее региона по отношению к другим странам с учетом схожести и различия их ... геополитических потенциалов, наличия или отсутствия взаимных геополитических интересов и проблем» [Цит. по: 28, с. 19]. Это подтверждает и анализ развития геополитического положения Северо-Востока России. В течение XX – начала XXI в. данный регион пережил этапы усиления и ослабления различных факторов, формировавших его геополитическое положение, в том числе внешнеполитического и минерально-сырьевого. При этом, если первый из них уже имел определенную ретроспективу (с XVII в.), то второй начал проявляться только после становления в регионе советской власти. В целом они имели определяющее влияние как извне, так и изнутри при формировании современного геополитического положения Северо-Востока. В этом процессе можно выделить пять этапов: предвоенный, военный, холодной войны, временной деградации, восстановления и обновления геополитических позиций.

Следует заметить, что минеральные ресурсы региона из-за своей удаленности от центров потребления готовой продукции страны оставались не исследуемыми до конца 20-х – начала 30-х гг. XX в. Но в дальнейшем был дан импульс не только к их поиску, открытию, но и организации добычи и частичной переработки. Затем они оставались важнейшим конкурентным преимуществом и базисом промышленного производства региона, обеспечивая экономическую составляющую его геополитического потенциала.

Наступивший затем этап временной геополитической деградации, а по сути «геополитического провала» Северо-Востока (как и всей страны), оказался следствием комплекса политических и социально-экономических просчетов. Он сопровождался не только опасными внешнеполитическими уступками, но и значительной утратой производственных мощностей горнодобывающей промышленности и как следствие – снижением общего уровня социально-экономического благосостояния региона, что еще более усугубило его геополитическое положение к концу XX в. На этапе восстановления преодоление негативных последствий постепенно начало давать эффективный результат при комплексных усилиях в сфере суверенного внешнеполитического строительства и развития минерально-ресурсной, т.е. естественно-географической, природной данности. Это наиболее отчетливо проявилось в увеличении площади региона за счет акваториального пространства Охотского моря и шельфа Арктики, что в конечном итоге было признано международным сообществом под эгидой ООН и заметно укрепило современное геополитическое положение Северо-Востока России.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ТИГ ДВО РАН (№ АААА-А16-116110810013-5): «Географические и геополитические факторы в устойчивом развитии территориальных структур хозяйства и населения региональных и локальных уровней Тихоокеанской России».

Acknowledgments. The work was carried out under of the state assignment of the Federal State Budgetary Scientific Institution Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (No. АААА-А16-116110810013-5): “Geographical and geopolitical factors in the sustainable development of territorial structures of the economy and population of regional and local levels in Pacific Russia”.

Литература

1. Бакланов П.Я., Романов М.Т. Геополитические факторы долгосрочного развития восточных арктических районов России // Вестник ДВО РАН. 2015. № 1. С. 95 – 99.
2. Романов М.Т. Геополитическое положение как фактор регионального развития // Тихоокеанская Россия. Страницы настоящего, прошлого, будущего. Владивосток: Дальнаука, 2012. С. 262–272.
3. Бакланов П.Я., Романов М.Т. Геополитика и геоэкономика трансграничности // Трансграничный регион. Понятие, сущность, форма. Под. ред. П.Я. Бакланова. Владивосток: Дальнаука, 2010. С. 140–152.
4. Бакланов П.Я., Романов М.Т., Мошков А.В. Географические и геополитические факторы развития Арктической зоны России // Научно-технические проблемы освоения Арктики. / под ред. Н.П. Лаверьева, В.И. Васильева, А.А. Маковского. М.: Наука, 2015. С. 349–362.
5. Романов М.Т., Шведов В.Г. Выделение и обоснование геополитического региона Берингия // Общественно-географическая структура и динамика современного евразийского пространства: вызовы и возможности для России и ее регионов / отв. ред. П.Я. Бакланов. Владивосток: Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, 2020. С. 251–259.
6. Hulten E. History of Arctic and Boreal Biota. Stockholm, Sweden: Bokoforlags aktiebolaget Thule, 1937. 168 p.
7. Romanov M.T., Shvedov V.G. About Dynamics of the Geopolitical Position of the North-East of Russia in the 17-th-21-th Centuries // Humanities & Social Sciences Review, 2019. Vol. 7, N 6. P. 169–175.
8. Бакланов П.Я., Новиков А.Н., Новикова М.С. Влияние трансграничности на территориальные структуры Приморского края России и сопредельных территорий // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2018. Т. 160. Кн. 1. С. 162–177.
9. Бакланов П.Я., Говорушко С.М., Ткаченко Г.Г., Краснопеев С.М. Территориальные сочетания экстремальных природных процессов и опасных явлений в Тихоокеанской России // География и природные ресурсы 2023. № 2. С. 47–53.
10. Бакланов П.Я., Мошков А.В., Ткаченко Г.Г., Шведов В.Г. Дальневосточное транспортно-экономическое кольцо: структура и функции в пространственном развитии региона // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2023. № 2. С. 73–88.
11. Бакланов П.Я., Шведов В.Г. Роль геополитических факторов в освоении Восточной Арктики России и адаптации населения // Азиатско-Тихоокеанский регион: экономика, политика, право. 2021. Т. 23, № 3. С. 63–79.
12. Бакланов П.Я., Романов М.Т., Ткаченко Г.Г. Природно-ресурсное районирование на примере Дальневосточного макрорегиона России // География и природные ресурсы 2020. № 2. С. 24–31.
13. Нарочницкий А.Л., Грубер П.А., Сладковский М.Н., Бурлингас И.Я. Международные отношения на Дальнем Востоке. М.: Мысль, 1973. Т. 1. 324 с.
14. Сталин И.В. О задачах хозяйственников. Сочинения. М.: Государственное издательство политической литературы, 1951. Т. 13. С. 29–42.
15. История Дальнего Востока России / под ред. В.Л. Ларина. Владивосток: Дальнаука, 2018. Т. 3. Кн. 2. 656 с.
16. Кошкин А.А. Крах стратегии «спелой хурмы». М.: Мысль, 1989. 272 с.
17. Вклад жителей Колымы в достижение победы в Великой Отечественной войне [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://magadan.bezformata.com/listnews/kolimi-v-dostizhenie-pobedi-v-velikoj/32544744/> (дата обращения: 03.03.2026).
18. Зеляк В.Г. Золото для победы // Россия и АТР. 2010. № 2 (68). С. 55–62.
19. Монин С.М. Дорогами Ленд-лиза // Великая победа и современный мир / под ред. С.Е. Нарышкина, А.В. Торкунова. М.: Изд-во Московского государственного университета международных отношений, 2015. Т. 15. С. 121–134.
20. Алсиб: десять тысяч километров мужества [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://topwar.ru/119723-alsib-desyat-tysyach-kilometrov-muzhestva-k-75-letiyu-trassy-alyaska-sibir.html> (дата обращения: 03.03.2026).
21. Ломакина Н.В. Минерально-сырьевой комплекс Дальнего Востока России: потенциал развития. Хабаровск: РИОТИП, 2009. 240 с.
22. Бакланов П.Я., Романов М.Т. Геополитическое положение Тихоокеанской России в начале XXI века // Ученые записки Забайкальского государственного университета. Серия Естественные науки. 2014. № 1. С. 89–98.

23. Романов М.Т. Геополитический «разворот» России на Восток и развитие собственных восточных территорий // Проблемы Дальнего Востока. 2017. № 2. С. 57–68.
24. Конышев В.Н., Сергунин А.А. О новой военной стратегии США в Арктике // Арктика и Север. 2024. № 57. С. 226–243.
25. Arctic Strategy. Washington, USA; publication of the USA Department of Defense, 2024. 28 p.
26. Об основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу от 06.05.2009 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.mid.ru/ru/foreign_policy/rso/1695524/ (дата обращения: 28.03.2026).
27. Мансуров М.Н., Захаров Е.В. О перспективах нефтегазоносности на шельфе морей Восточной Арктики // Вести газовой науки. 2015. № 2 (22). С. 15–20.
28. Бакланов П.Я., Романов М.Т. Экономико-географическое и геополитическое положение Тихоокеанской России. Владивосток: Дальнаука, 2009. 168 с.

References

1. Baklanov, P.Ya; Romanov M.T. Geopolitical factors in the long-time development of Russia's eastern Arctic regions. *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2015;(1):95–99. (In Russian).
2. Romanov, M.T. Geopolitical position as a factor in regional development. In *Pacific Russia: Pages of the Present, Past, and Future*. Ed. by P.Ya. Baklanov. Dalnauka: Vladivostok, Russia. 2012:262–272. (In Russian).
3. Baklanov, P.Ya; Romanov, M.T. Geopolitics and geoeconomics of transboundary phenomena. In *Transborder region*. Ed. by P.Ya. Baklanov. Dalnauka: Vladivostok, Russia. 2010, 140–152. (In Russian).
4. Baklanov, P.Ya; Romanov, M.T.; Moshkov, A.V. Geographical and geopolitical factors in the development of the Arctic zone of Russia. In *Scientific and technical problems of Arctic development*. Ed. by N.P. Laver'ev, V.I. Vasil'ev, A.A. Makosko. Nauka. Moscow, Russia. 2015:349–362. (In Russian).
5. Romanov, M.T.; Shvedov, V.G. Identification and justification of the geopolitical region of Beringia. In *Socio-geographical structure and dynamics of the modern Eurasian space: challenges and opportunities for Russia and its regions*. Ed. by P.Ya. Pacific Geographical Institute FEB RAS: Vladivostok, Russia. 2020:251–259. (In Russian).
6. Hulten, E. History of Arctic and Boreal Biota. Stockholm, Sweden: Bokforlags aktiebolaget Thule, 1937; 168 p.
7. Romanov, M.T.; Shvedov V.G. About Dynamics of the Geopolitical Position of the North-East of Russia in the 17–21th Centuries. *Humanities & Social Sciences Review*. 2019;7(6):169–175 .
8. Baklanov, P.Ya.; Novikov, A.N.; Novikova, M.S. The influence of transboundary phenomena on the territorial structures of Russian Primorsky Krai and adjacent areas. *Scientific Notes of Kazan University. Natural Sciences Series*. 2018; 160(1):162–177. (In Russian).
9. Baklanov, P.Ya.; Govorushko, S.M.; Tkachenko, G.G.; Krasnopeev, S.M. Territorial Combinations of Extreme Natural Processes and Dangerous Phenomena in Pacific Russia. *Geography and Natural Resources*. 2023;(2):47– 53. (In Russian).
10. Baklanov, P.Ya.; Moshkov, A.V.; Tkachenko, G.G.; Shvedov, V.G. Far Eastern Transport and Economic Ring: Structure and Functions in the Spatial Development of the Region. *Vestnik of Moscow University. Series 5. Geography*. 2023;(2):73–88. (In Russian).
11. Baklanov, P.Ya.; Shvedov, V.G. The role of geopolitical factors in the development of the Eastern Arctic of Russia and the adaptation of the population. *Asia-Pacific region: economics, politics, law*. 2021;23(3):63–79. (In Russian).
12. Baklanov, P.Ya.; Romanov, M.T.; Tkachenko, G.G. Natural Resource Zoning of the Far Eastern Macro-region of Russia. *Geography and Natural Resources*. 2020;(2):24–31. (In Russian).
13. Narochitskij, A.L.; Gruber, P.A.; Sladkovskij, M.N.; Burlingas, I.Ya. International relations in the Far East. Mysl: Moscow, Russia, vol. 1. 1973; 324 p. (In Russian).
14. Stalin, I.V. About the tasks of enterprise managers. In *I.V. Stalin. Essays*. State Publishing House of Political Literature: Moscow, USSR, 1951;(13):29–42. (In Russian).
15. History of the Russian Far East. Ed. by V.L. Larin. Dalnauka: Vladivostok, Russia, Vol.2, Book 3, 2018; 656 p. (In Russian).
16. Koshkin, A.A. The collapse of the “ripe persimmon” strategy. Mysl: Moscow, Russia, 1989; 272 p. (In Russian).
17. The contribution of the people of Kolyma to the victory in the Great Patriotic War. (In Russian). Available online: <https://magadan.bezformata.com/listnews/kolimi-v-dostizhenie-pobedi-v-velikoj/32544744/> [Accessed: 03.03.2026].
18. Zelyak, V.G. Gold for victory. *Russia and ATR*. 2010;2(68):55–62. (In Russian).
19. Monin, S.M. Along the Lend-Lease Roads. In *The Great Victory and the Modern World*. Ed. by S.E. Narynkin, A.V. Turkunov. Moscow State University of International Relations: Moscow, Russia, 2015; (15):121–134. (In Russian).
20. Alsib: ten thousand kilometers of courage. Available online: <https://topwar.ru/119723-alsib-desyat-tysyach-kilometrov-muzhestva-k-75-letiyu-trassy-alyaska-sibir.html> [Accessed: 03.2026]. (In Russian).
21. Lomakina, N.V. The Mineral Resources Sector of the Russian Far East: The Development Potential. RIOTIP Publishing House: Khabarovsk, Russia, 2009; 240 p. (In Russian).
22. Baklanov, P.Ya.; Romanov, M.T. Geopolitical position of Pacific Russia at the beginning of the 21st century. *Scientific Notes of the Zabaykalskij State University. Natural Sciences Series*. 2014;(1):89–98. (In Russian).

23. Romanov, M.T. Russia's geopolitical "turns" to the East and the development of its own eastern territories. *Problems of the Far East*. 2017;(2):57–68. (In Russian).
24. Konyshchev, V.N.; Sergunin, A.A. About the new US military strategy in the Arctic. *Arctic and North*. 2024;(57):226–243. (In Russian).
25. Arctic Strategy. Washington, USA; publication of the USA Department of Defense, 2024; 28 p.
26. On the Fundamentals of State Policy of the Russian Federation in the Arctic for the Period up to 2020 and Beyond, dated May 6, 2009. (In Russian). Available online: https://www.mid.ru/ru/foreign_policy/rso/1695524/ [Accessed: 03.03.2026].
27. Mansurov, M.N.; Zakharov, E.V. About the prospects for oil and gas reserves on the shelf of the Eastern Arctic seas. *Gas Science News*. 2015;2(22):15–20. (In Russian).
28. Baklanov, P.Ya.; Romanov, M.T. Economico-geographical and geopolitical position of Pacific Russia. Dalnauka: Vladivostok, Russia, 2009; 168 p. (In Russian).

Статья поступила в редакцию 07.04.2026; одобрена после рецензирования 17.04.2026; принята к публикации 21.04.2026.

The article was submitted 07.04.2026; approved after reviewing 17.04.2026; accepted for publication 21.04.2026.



Трансформация результатов выборов Президента РФ в 2018 и 2024 гг. на муниципальном уровне (на примере регионов Восточной Сибири)

Юлия Сергеевна РАЗМАХНИНА
кандидат географических наук, научный сотрудник
juliarazm@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3047-0196>
Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. Иркутск, Россия

Аннотация. Анализируются показатели итогов выборов Президента в 2018 и 2024 гг. в Восточной Сибири: явка избирателей и количество голосов в процентном соотношении, отданных за В.В. Путина. Исследование осуществлено на уровне муниципальных образований (районы, городские округа и т.д.). На данный момент научные работы, в которых рассматривалась бы трансформация указанных показателей на уровне муниципалитетов, отсутствуют, что свидетельствует о новизне статьи и ее актуальности. Рассматриваются следующие восточносибирские субъекты РФ: Республики Бурятия, Саха (Якутия), Тыва и Хакасия; Забайкальский и Красноярский края; Иркутская область. С помощью проведенного анализа показана тенденция роста явки в большинстве муниципалитетов, наиболее отчетливо это проявилось в Красноярском крае. При этом увеличение явки избирателей наименьшим образом затронуло муниципальные образования Республики Саха (Якутия), в большинстве которых наблюдается ее снижение. Проиллюстрировано увеличение голосов за В.В. Путина практически в большинстве рассматриваемых территориальных образований. Установлена тенденция размытия электорального раскола итогов выборов в русских и этнических муниципальных образованиях, что особенно заметно относительно явки и менее выражено в отношении голосов за действующего президента. В статье применяется авторская расчетная формула для целей группировки территорий по особенностям электорального поведения избирателей, основа которой заимствована из индекса демократизации Т. Ванханена, который чаще используется для оценки демократичности политических систем на уровне государств.

Ключевые слова: Восточная Сибирь, явка, количество голосов, этнический фактор, динамика результатов голосования

Для цитирования: Размахнина Ю.С. Трансформация результатов выборов Президента РФ в 2018 и 2024 гг. на муниципальном уровне (на примере регионов Восточной Сибири) // Тихоокеанская география. 2026. № 3. С. 28–38. https://doi.org/10.35735/26870509_2026_27_3

Transformation of the 2018 and 2024 presidential elections results at the municipal level in Eastern Siberia

Yulia S. RAZMAKHNINA

Candidate of Geographical Sciences, Research associate

juliarazm@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3047-0196>

V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS. Irkutsk. Russia

Abstract. Voter turnout and the percentage of votes cast for V.V. Putin were analyzed as indicators of the dynamics of the presidential elections (2018–2024) in Eastern Siberia. The study was conducted at the level of upper municipal entities (districts, urban districts, etc.). Currently the author has not found similar studies on this topic that examined the transformation of the aforementioned indicators especially at the municipal level which indicates the novelty of the work and its relevance. The author examined the following Eastern Siberian subjects of the Russian Federation: the republics of Buryatia, Sakha (Yakutia), Tyva, and Khakassia; Zabaykalsky and Krasnoyarsk krais, Irkutsk Oblast. The conducted analysis showed trends in increasing voter turnout in the majority of municipalities which accounts for 83.3% of their total number. This phenomenon is especially pronounced in Krasnoyarsk Krai. At the same time, the increase in turnout had the least effect on the municipalities of the Republic of Sakha (Yakutia) where, on the contrary, a decrease in this indicator was observed, which was typical for 62.9 % of the Republic's municipalities as well as the Irkutsk region which had the lowest turnout in Eastern Siberia. The article further illustrates the increase in votes for Vladimir Putin in almost the majority of the territorial units analyzed. A trend toward a blurring of the electoral divide in election results in Russian and ethnic municipalities is revealed particularly noticeable in terms of turnout and less pronounced in terms of votes for the incumbent president. In fact, thanks to the special military operation the Russian population and indigenous peoples became more even in their sympathies for the V.V. Putin and in their voter turnout. The article applies T. Vanhanen's democratization index which is more often used to evaluate the democratic nature of political systems at the national level. In this case, it is applied to the analysis of the 2024 elections at the municipal level.

Keywords: Eastern Siberia, turnout, number of votes, ethnic factor, dynamics of voting results

For citation: Razmakhnina Yu.S. Transformation of the 2018 and 2024 presidential elections results at the municipal level in Eastern Siberia. *Pacific Geography*. 2026;(3):28–38. (In Russ.). https://doi.org/10.35735/26870509_2026_27_3

Введение

Выборы главы государства Российской Федерации считаются одним из наиболее знаковых событий в политической жизни страны. Закономерно, что явка на избирательные участки в день выборов Президента является более высокой, чем, например, на выборах депутатов Государственной Думы. Для сравнения: в 2021 г. на выборах в Госдуму этот показатель составил 51.6 %, а в 2024 г. (президентские выборы) – 77.3 %. Политическая кампания 2024 г. прошла в условиях СВО, что повлияло на электоральное поведение избирателей и привело к изменению организации проведения выборов – усилению охраны избирательных участков от возможных атак беспилотников, артиллерии и диверсантов в приграничных регионах России, а также от других возможных форм нарушений избирательных процессов во время проведения голосования (предотвращение многочисленных кибератак на ресурсы дистанционного электронного голосования (ДЭГ) и ГАС «Выборы») [1]. На наш взгляд, выборы Президента 2024 г. и их итоги пока недостаточно проанализированы, что свидетельствует о новизне и актуальности проведенного исследования.

В работах по соответствующей тематике сравниваются результаты голосования на президентских выборах граждан России на территории РФ и за рубежом в 2024 г., например, распределение голосов между кандидатами (за рубежом лидировал В.В. Путин с результатом 72.2 %, далее следовали В.А. Даванков (16.6 %), Л.Э. Слуцкий (1.9 %) и Н.М. Харитонов, получивший 2.2 % голосов) [2]), что значительно отличается от результатов в РФ (В.В. Путин – 87.3 %, Н.М. Харитонов – 4.3 %, В.А. Даванков – 3.8 %, Л.Э. Слуцкий – 3.2 %). Региональный аспект голосования представлен на примере Свердловской области, характеризующейся традиционным наличием протестных групп электората, где в условиях СВО оппозиционные кандидаты получили меньшее количество голосов [3]. В Республике Карелия, несмотря на результат голосования за В.В. Путина в 82.1 %, что близко к более высокому результату по стране (87.3 %), явка традиционно была одной из самых низких в стране (60.2 %), наиболее низкой – в приграничных районах с Финляндией [4].

Также уделяется внимание инструментам сбора голосов в ходе выборов 2024 г., а именно ДЭГ. Несмотря на то, что география его использования расширилась (возможность проголосовать дистанционно появилась в 29 российских регионах вместо 7 в ходе выборов в Государственную Думу 2021 г.), тем не менее половина избирателей не доверяли данной системе, опасаясь технической ненадежности этого ресурса. В 2021 г. с помощью ДЭГ проголосовало почти 2.5 млн избирателей, а в 2024 г. этой формой голосования воспользовалось чуть более 8 млн избирателей [5, 6].

Восточносибирские субъекты РФ можно условно разделить на «этнические», к которым относятся Республики Тыва (доля тувинцев 88.7 %), Саха (доля только якутов без учета коренных малочисленных народов – 55.3 %), а также Бурятия (бурятов – 33.5 %); «промежуточного» звена, к ним относится Республика Хакасия (наличие этнической компоненты – доля хакасов составляет 12.7 %); «русские» – Красноярский край (доля русских 93.3 %), Иркутская область (92.2 %). Забайкальский край (89.2 %).

Республика Саха (Якутия) включена в указанный макрорегион, т.к. В.Б. Сочава в пределах Северной Азии отделял внутриматериковую сибирскую часть от дальневосточной полосы (внутриконтинентальное макроположение Сибири на большом удалении от незамерзающих морей и океанов) [7]. Исходя из географического положения и природных условий, специализации хозяйства и преобладающих связей Якутия является типичной северной частью Восточной Сибири.

Ранее нами была изучена трансформация влияния этнического фактора на итоги федеральных выборов (2003–2021 гг.) в Восточной Сибири [8, 9]. Высокая явка и наибольшее количество голосов за В.В. Путина и партию «Единая Россия» наблюдаются в муниципальных образованиях с высокой долей коренных народов в этническом составе населения. Связь между этническим составом населения и высокой явкой, с одной стороны, и политическими предпочтениями, с другой, обусловлена дотациями из федерального центра в регионы РФ, особым типом электорального поведения, слабыми позициями федеральных политических сил, использующих националистические лозунги [10]. Для обозначения указанного типа электорального поведения используются следующие характеристики: «республиканский тип голосования» [11], «региональная политическая культура этнических периферий» и присущий ей конформизм [12], «патриархальный тип электорального поведения» [13], «контролируемая электоральная культура» [11].

Цель данной статьи – анализ итогов выборов Президента в 2018 и 2024 гг., а именно: динамики явки и количества голосов за В.В. Путина. Рассматривается изменение доли количества голосов за действующего президента, поскольку это единственный кандидат, который участвовал в упомянутых двух избирательных кампаниях.

Материалы и методы

В статье анализируются такие показатели динамики результатов выборов Президента (2018 и 2024 гг.), как явка и доля голосов за действующего президента в Респу-

бликах Бурятия, Саха (Якутия), Тыва и Хакасия, Забайкальском и Красноярском краях и Иркутской области. Всего на территории этих субъектов РФ насчитывается 228 муниципальных образований (МО) (пгт. Жатай включен в состав г. Якутск). Данные муниципалитеты отличаются своеобразием характера расселения (городские и сельские МО), национальным составом населения. Поскольку удельный вес коренных народов действительно способен влиять на итоги выборов в том или ином МО, по нашим наблюдениям, в отличие от доли жителей города или села, влиянию этнического фактора на итоги выборов уделено особое внимание.

Проведенное исследование базируется на отчетах ЦИК РФ в системе «ГАС-Выборы» [14], также дополнительно используются данные Всероссийской переписи населения 2020 г. [15].

В работе применяются математико-статистический и картографический методы. В частности, использованы метод корреляционного анализа, применительно к оценке результатов выборов 2024 г. использована авторская формула на основе индекса демократизации Т. Ванханена.

Результаты и их обсуждение

В целом по восточносибирским субъектам РФ явка составила 71.2 %, а количество голосов за В.В. Путина 87.5 %, таким образом, поддержка действующего президента практически не отличается от данного показателя по всей стране, в то время как явка находится ниже уровня общероссийского значения (77.5 %). Больше всего голосов В.В. Путин получил в Республике Тыва (95.4 %), где явка составила 95.5 %, менее всего – в Иркутской области (83.9 %) с явкой 63.2 % (табл. 1). Можно утверждать, что уровень поддержки традиционно выше в республиках, исключение составляют Забайкальский край, где процент проголосовавших за президента выше, чем в Республике Хакасия, что может быть объяснено небольшой долей хакасов в самом регионе; явка в Красноярском крае выше, чем в Республиках Саха (Якутия) и Хакасия.

Итоги голосования за В.В. Путина в восточносибирских субъектах РФ с указанием рейтинга по количеству голосов

Table 1. Voting for V.V. Putin in Eastern Siberia regions compared to the Russian Federation

	2018			2024		
	Явка, %	Результат В.В. Путина, %	Место субъекта РФ в ранжированном списке по количеству голосов за В.В. Путина	Явка, %	Результат В.В. Путина, %	Место субъекта РФ в ранжированном списке по количеству голосов за В.В. Путина
Российская Федерация	67.5	76.7	-	77.5	87.3	-
Восточносибирский регион	62.3	73.8	-	71.2	87.5	-
Республика Бурятия	75.2	73.7	54	73.7	87.9	32
Республика Саха (Якутия)	71.0	64.4	85	71.6	87.7	34
Республика Тыва	93.6	92.0	3	95.5	95.4	3
Республика Хакасия	65.3	69.2	76	74.3	85.3	54
Забайкальский край	58.0	72.0	65	65.3	87.7	35
Красноярский край	60.3	74.3	51	77.2	84.1	66
Иркутская область	55.7	73.1	58	63.2	83.9	68

Составлено автором по данным [14].

Ордынского Бурятского округа Иркутской области, Аскизского района Республики Хакасия, в которых доля коренных народов (бурятов и хакасов) составляет 54.7 % и 55.5 % соответственно. В некоторых этнических МО в 2018 г. и ранее явка уже достигала очень высоких значений, так, в Дзун-Хемчикском районе Республики Тыва она составляла 98.8 %, а в 2024 г. уменьшилась до 96.2 %; в ряде других тувинских муниципалитетов явка снизилась менее чем на 1.0 %. Поскольку русские муниципалитеты практически сравнились с этническими по явке на выборы, теснота связи между этничностью (доля коренных народов) и явкой, а также политическими предпочтениями снижается; в 2012 г. коэффициент корреляции (явка) составил 0.84 [8], в 2018 г. уже 0.72, а в 2024 г. только 0.41. По нашим подсчетам взаимосвязь между этничностью и голосованием за В.В. Путина следующая: в 2012 г. коэффициент составил 0.72, в 2018 г. – всего 0.33, а в 2024 г. 0.69. Полагаем, что более высокая поддержка у коренных народов кандидатуры В.В. Путина на посту президента обусловлена фактором СВО.

Количество голосов за В.В. Путина в Восточной Сибири в 2024 г. в сравнении с 2018 г. выросло почти во всех МО, за исключением Жигаловского района Иркутской области (снижение с 81.5 до 79.8 %, или на 1.7 %), г. Красноярск (с 75.8 до 75.0 %, или на 0.8 %), Эрзинского района Республики Тыва (с 99.5 до 98.6 %, или 0.9 %). В Республике Саха (Якутия), где в 2024 г. наблюдалось уменьшение явки, напротив, максимальный рост голосов за В.В. Путина составил 25–34 %.

Для большинства восточносибирских муниципалитетов (132, или 59.5 %) характерен умеренный прирост явки в диапазоне 5–15 %. Также присутствует значительная группа МО (63, или 27.6 %), в которых наблюдается прирост голосов за президента выше среднего уровня (15–25 %), к ним относятся в первую очередь муниципалитеты Забайкальского края, в т.ч. этнические территории Агинского района и городского округа «Агинское», Могойтуйского района Агинского Бурятского округа, а также МО Республики Саха (Якутия). Большинство муниципалитетов с небольшим приростом голосов за В.В. Путина (14 из 17) находятся в Республике Тыва, поскольку и на предыдущих выборах 2018 г. результаты этого кандидата были достаточно высокими [17] (табл. 2).

Таблица 2

Сравнение результатов голосования за В.В. Путина (%) в 2018 и 2024 гг. в Республике Тыва

Table 2. Comparison of voting results for V.V. Putin (%) in 2018 and 2024 in the Republic of Tuva

№	МО (городские округа, районы)	2018 г.	2024 г.	Изменение
1	г. Ак-Довурак	91.0	97.3	+6.3
2	Бай-Тайгинский	96.4	98.2	+1.8
3	Барун-Хемчикский	94.8	97.3	+2.5
4	Дзун-Хемчикский	97.2	97.8	+0.6
5	Каа-Хемский	91.0	97.7	+6.7
6	г. Кызыл	87.7	92.7	+5.0
7	Кызыльский	92.2	96.0	+3.8
8	Монгун-Тайгинский	98.4	98.8	+0.4
9	Овюрский	95.1	96.8	+1.7
10	Пий-Хемский	93.2	94.7	+1.5
11	Сут-Хольский	97.2	99.1	+1.9
12	Тандинский	90.4	95.7	+5.3
13	Тере-Хольский	95.4	97.5	+2.1
14	Тес-Хемский	95.9	97.7	+1.8
15	Тоджинский	92.6	95.8	+3.2
16	Улуг-Хемский	94.4	96.5	+2.1
17	Чаа-Хольский	94.6	95.5	+0.9
18	Чеди-Хольский	96.3	97.5	+1.2
19	Эрзинский	99.5	98.6	-0.9

Составлено автором по данным [14].

Сложно проводить расчеты для оценки и анализа группировки муниципальных районов по данным голосования избирателей на выборах президента, т.к. В.В. Путин набрал большое количество голосов на большей части рассматриваемой территории (87.3 %). Поэтому для классификации МО использован показатель явки избирателей. Из всех рассмотренных употребляемых формул для анализа результатов выборов более всего подошел индекс демократизации Т. Ванханена [18].

$$\text{ИД} = (K \times Y) / 100, \quad (1)$$

где K – уровень конкурентности (100 % минус количество голосов, полученных правительственной партией / блоком партий или кандидатом, одержавшим победу в президентских выборах); Y – уровень электорального участия (доля населения, которая участвовала в голосовании, от численности всего населения, а не только взрослого или имеющего право голоса).

Т. Ванханен предложил следующую классификацию полученных результатов: 1) $\text{ИД} \geq 5$ – демократические политические системы (в нашем случае анализ проводится не на уровне стран, а МО); 2) $\text{ИД} = 2-5$ – полудемократические; 3) $\text{ИД} < 2$ – недемократические.

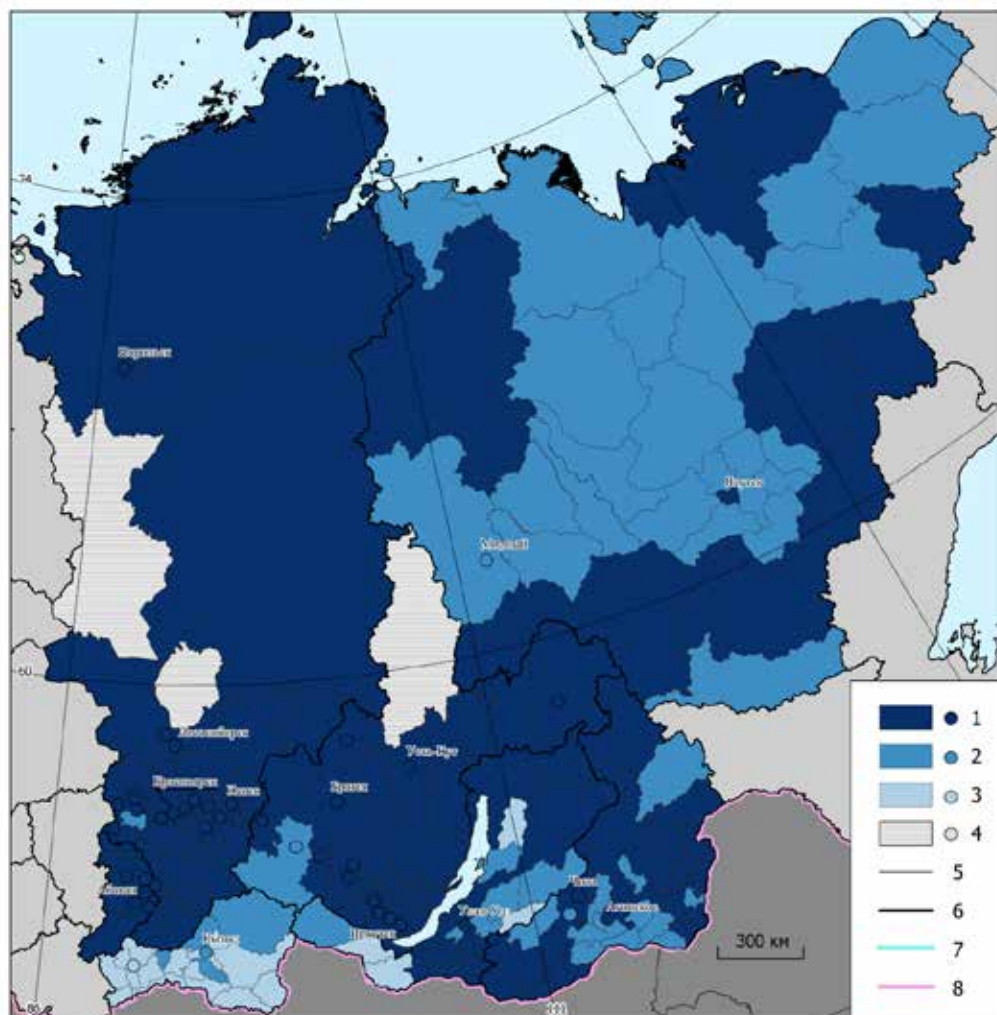
Основу данной формулы можно использовать для анализа группировки муниципальных районов по особенностям электорального поведения избирателей на муниципальном уровне, а расчетный показатель обозначить как «индекс электоральной активности избирателей и политических кандидатов». Таким образом, используя данный индекс, получаем следующую классификацию восточносибирских МО: 1) с положительной степенью электоральной активности; 2) с удовлетворительной степенью электоральной активности избирателей и политических кандидатов; 3) с электоральной активностью, характеризующейся «региональной политической культурой этнических периферий» или «патриархальным типом электорального поведения». Третьей группе МО свойственна активная явка и наиболее ярко выраженное преобладание одного-двух кандидатов консервативных взглядов над остальными претендентами. Данный тип культуры начал выделяться еще со времен первых федеральных выборов 1993 г.

Для 158 (69.2 %) восточносибирских муниципалитетов характерна положительная степень электоральной активности, для 49 (21.5 %) – удовлетворительная, для 18 (7.9 %) – неудовлетворительная (рис. 2). К трем МО региона (Катангский район Иркутской области, Северо-Енисейский и Туруханский районы Красноярского края) не удалось применить данную методику, поскольку в них наблюдается массовый приток работников вахтовым методом, зарегистрировавшихся в системе ГАС-выборы по месту нахождения, из-за чего уровень электорального участия выглядит аномально высоким.

Для большей части МО Красноярского края, Республики Хакасия и Иркутской области характерна положительная степень электоральной активности, именно эти субъекты РФ составляют 70.3 % от муниципалитетов первой группы. Наибольшее количество МО с удовлетворительной степенью электоральной активности присутствуют в Республике Саха (Якутия) – 24 из 35 (68.6 %), а также Забайкальском крае – 13 (37.1 %). МО третьего типа в наибольшем количестве представлены в Республике Тыва – 14 муниципалитетов (73.7 %).

С помощью проведенного анализа представляется возможным выделить три тенденции трансформации выборов Президента 2018–2024 гг. Первая особенность заключается в том, что в сравнении с результатами явки 2018 г. со средним показателем 2004–2012 гг. заметно снижение участия избирателей в выборах в 137 МО, что составляет 60.1 % от всех восточносибирских муниципалитетов. В 2024 г., наоборот, отмечено повышение явки в 190 МО (83.3 %). При этом один из субъектов РФ – Республика Саха (Якутия) – в сравнении с 2004–2012 гг. демонстрирует снижение этого показателя и в 2018, и в 2024 гг.

Вторая тенденция показывает наиболее динамичный рост голосов за В.В. Путина. Всего только в трех МО наблюдается незначительное снижение голосов (не более 1 %).



1) МО с положительной степенью электоральной активности (≥ 5); 2) МО с удовлетворительной степенью электоральной активности (2–5); 3) МО с неудовлетворительной степенью электоральной активности (< 2); 4) невозможно оценить. Границы: 5) между МО; 6) между субъектами РФ; 7) между макрорегионами; 8) государственные

Рис. 2. Индекс электоральной активности избирателей и политических кандидатов

Fig. 2. Electoral activity index of voters and political candidates

В то время как в 2018 г. при сравнении с более ранними избирательными кампаниями 2004–2012 гг. снижение голосов за В.В. Путина наблюдалось в 37 МО: из них 24 муниципалитета находились в Республике Саха (Якутия), 6 – в Туве, 5 (в основном этнические МО – Агинский район с пгт. Агинское, Моготуйский и др.) в Забайкальском крае, 2 в Тункинском районе Бурятии (с долей коренных народов 65.2 %) и Березовском районе пригородного типа, примыкающем к г. Красноярск.

Третья черта динамики выборов Президента 2018–2024 гг. – нивелирование роли этнического фактора в итогах выборов. В 2018 г. происходила некоторая переориентация жителей этнических МО на оппозиционных кандидатов, например, результат голосования за В.В. Путина был в Якутии самым низким по стране, а наиболее высоким – за П.Н. Грудина. В 2024 г., напротив, население страны максимально расположено к В.В. Путину, прежде всего из-за его внешнеполитического курса, что фактически привело к тому, что

русские и коренные народы сравнились в своих симпатиях к президенту. Эта тенденция хорошо прослеживается по связи между этничностью и явкой (русские МО стали догонять этнические муниципалитеты по явке) и частично с политическими предпочтениями, что наблюдалось в 2018 г., но было переломлено фактором СВО.

Заключение и выводы

Выборы 2024 г. в новейшей истории нашего государства на данный момент являются политической кампанией с наиболее высокой явкой и количеством голосов за действующего президента. Безусловно, подобные результаты (особенно относительно количества голосов за В.В. Путина) обусловлены текущей внешнеполитической повесткой – проведением СВО.

Несмотря на повышение явки в большинстве восточносибирских МО, указанная тенденция наименьшим образом затронула Иркутскую область и ее муниципалитеты. В данном субъекте РФ со средней явкой в 63.2 % присутствуют четырнадцать МО, в которых уровень явки был еще ниже, например, г. Иркутск, Ангарский городской округ, Шелеховский район (в последних двух МО наблюдается небольшое снижение явки по сравнению с 2018 г.). Подобный итог вполне закономерен, т.к. Иркутская область обладает славой протестного региона. Кроме того, упомянутые МО области схожи по своему национальному составу, в котором доминирующая роль принадлежит русскому населению, также в некоторых из них находятся крупные предприятия и производства, часть из которых попала под западные санкции (Иркутский авиационный завод, Ангарская нефтехимическая компания и т.д.), что вряд ли могло положительно сказаться на активности избирателей. Также в муниципалитетах Республики Саха (Якутия) произошло снижение явки по сравнению с 2018 г., что по сути также может являться своеобразным примером протеста, который был отмечен еще в прошлой президентской кампании.

При этом, как упоминалось выше, большинство МО (190 из 228) подтверждают своим примером значительное увеличение явки в макрорегионе. К ним относятся муниципалитеты Красноярского края (включая краевой центр), в котором средняя явка 77.2 % превысила совокупные показатели у этнических регионов, за исключением Республики Тыва. Такой результат можно объяснить через призму имеющихся проблем в г. Красноярск и крае (отсутствие метрополитена в городе-миллионере, экологические проблемы), к решению которых готов подключиться президент. Исходя из вышеперечисленного, тенденцию к увеличению явки в Восточной Сибири на выборах Президента вполне закономерно увязать с другим явлением – нивелированием влияния этнического фактора на итоги выборов, что особенно хорошо прослеживается с помощью корреляционного анализа, который показывает снижение связи между этничностью и итогами выборов, в первую очередь явкой. Иными словами, русские МО по явке и количеству голосов за В.В. Путина стали догонять этнические муниципалитеты, что ведет к уменьшению значимости электорального раскола в русских и этнических муниципалитетах.

Полагаем, что если В.В. Путин будет выдвигать свою кандидатуру на следующих выборах Президента, высокие показатели по явке и количеству голосов могут быть достигнуты за счет определенного внешнеполитического курса, обусловленного геополитическими событиями. Подчеркиваем, что 2018 г., являющийся в значительной степени более благополучной вехой в политической истории страны и разнообразным в плане выбора политических кандидатов на пост президента, показал меньшие результаты в части явки и голосов за действующего президента.

Благодарности. Работа выполнена за счет средств государственного задания Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН FWEM-2026-0006. № 1260205116552-3

Acknowledgments. The work was carried out at the expense of the state assignment of the V.B. Sochava Institute of Geography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences FWEM-2026-0006. No. 1260205116552-3

Литература

1. Назаров И.И., Никоненко С.А. Коммуникативные аспекты выборов 2024 года и перспективы политических партий в новом электоральном цикле // Среднерусский вестник общественных наук. 2024. Т. 19, № 5. С. 43–63. <https://doi.org/10.22394/2071-2367-2024-19-5-43-63>
2. Бочаров Ю.Б. Выборы Президента России в зарубежных странах в 2024 г. и фиаско несистемной оппозиции // Россия и мир: научный диалог. 2024. № 3 (13). С. 202–221. [https://doi.org/10.53658/RW2024-4-3\(13\)-202-221](https://doi.org/10.53658/RW2024-4-3(13)-202-221)
3. Щербаков И.Э. Итоги избирательной кампании по выборам Президента РФ на Среднем Урале в 2024 г // Культура и природа политической власти: теория и практика. Екатеринбург: Уральский гос. пед. ун-т, 2024. С. 141–146.
4. Рожнева С.С. Электоральное поведение и предпочтения жителей приграничных районов Карелии на выборах Президента РФ 2024 г. // Российский политический процесс в региональном измерении: история. теория. практика. 2025. № 18. С. 166–172.
5. Карпова Н.В., Леньков Р.В., Амелин В.С. Дистанционное голосование: опыт и проблемы э-демократии в современной России // Власть. 2024. № 6. С. 66–71.
6. Боровских Р.С. Причины отсутствия положительной динамики использования системы дистанционного электронного голосования в России // Культура и природа политической власти: теория и практика. Екатеринбург: Уральский гос. пед. ун-т. 2024. С. 212–216.
7. Воробьев В.В. Население Восточной Сибири. Современная динамика и вопросы прогнозирования. Новосибирск: Новосибирское отд. изд-ва «Наука», 1977. 160 с.
8. Размахнина Ю.С. Трансформация влияния этнического фактора на итоги федеральных выборов (2003–2021) в Восточной Сибири // Географический вестник. 2024. № 3 (70). С. 26–37. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2024-3-26-37>
9. Размахнина Ю.С. Этнический фактор политико-географических процессов в Восточной Сибири: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.24. Иркутск, 2021. 24 с.
10. Белова Е.В. Влияние этнического фактора на результаты парламентских выборов 4 декабря 2011 года // Вестник Удмуртского государственного университета. Сер. История и филология. 2015. Т. 5. С. 163–169.
11. Туровский Р.Ф. Политическая география. М.; Смоленск: Изд-во СГУ, 1999. 381 с.
12. Туровский Р.Ф. Концептуальная электоральная карта постсоветской России // Полития. Анализ. Хроника. Прогноз. 2005. № 4. С. 161–202.
13. Гудков И.В. Типологии электорального поведения в контексте выборов органов представительной власти РФ // Человек. Сообщество. Управление. 2008. № 2. С. 14–29.
14. Календарь выборов (ГАС-Выборы ЦИК РФ) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.izbirkom.ru/region/izbirkom> (дата обращения: 01.11.2025).
15. Всероссийская перепись населения 2020 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/vpr/2020> (дата обращения: 06.09.2025).
16. В Якутии меньше всех проголосовавших за Путина и больше всех – за Грудинина [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://yakutia.info/article/183550> (дата обращения: 30.11.2025).
17. Сибирский рекорд: Тува сказала «да» Владимиру Путину [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://regnum.ru/news/2392979> (дата обращения: 01.07.2025).
18. Титков А.С. Индекс демократии для регионов России: динамика 1990–2010-х годов // Вестник Пермского ун-та. Политология. 2016. № 2. С. 81–104.

References

1. Nazarov, I.I.; Nikonenko, S.A. Communicative aspects of the 2024 elections and prospects of political parties in the new electoral cycle. *Central Russian Bulletin of Social Sciences*. 2024;19(5): 43–63. (In Russian).
2. Bocharov Yu.B. Elections of the President of Russia in foreign countries in 2024 and the fiasco of the non-systemic opposition. *Russia and the World: Scientific Dialogue*. 2024;3(13):202–221. (In Russian).
3. Shcherbakov I.E. Results of the election campaign for the elections of the President of the Russian Federation in the Middle Urals in 2024. *Culture and nature of political power: theory and practice*. Ural State Pedagogical University: Ekaterinburg, Russia, 2024:141–146. (In Russian).
4. Rozhneva, S.S. Electoral behavior and preferences of residents of border regions of Karelia in the 2024 Russian Presidential elections. *Russian political process in the regional dimension: history. theory. practice*. 2025;(18):166–172. (In Russian).
5. Karpova, N.V.; Lenkov, R.V.; Amelin, V.S. Distant voting: experience and problems of e-democracy in modern Russia. *Vlast*. 2024;(6):66–71. (In Russian).
6. Borovskikh, R.S. Reasons for the lack of positive dynamics in the use of the remote electronic voting system in Russia. *Culture and nature of political power: theory and practice*. Ural State Pedagogical University: Ekaterinburg, Russia. 2024:212–216. (In Russian).
7. Vorobyov, V.V. Population of Eastern Siberia. Modern dynamics and forecasting issues. Novosibirsk branch of Nauka Publishing House: Novosibirsk, Russia. 1977; 160 p. (In Russian).

8. Razmakhnina, Yu.S. Transformation of the influence of the ethnic factor on the results of federal elections (2003–2021) in Eastern Siberia. *Geographical Bulletin*. 2024;3(70):26–37. (In Russian).
9. Razmakhnina, Yu.S. Ethnic factor of political and geographical processes in Eastern Siberia. Abstract of dissertation of candidate of geographical sciences in specialty: 25.00.24. IG SB RAS: Irkutsk, Russia. 2021; 24 p. (In Russian).
10. Belova, E.V. The Influence of the Ethnic Factor on the Results of the Parliamentary Elections of December 4. 2011. *Bulletin of the Udmurt State University. Series: History and Philology*. 2015;(5):163–169. (In Russian).
11. Turovsky, R.F. Political geography. Saratov State University Publishing House: Moscow, Smolensk, Ryssia. 1999; 381 p. (In Russian).
12. Turovsky, R.F. Conceptual Electoral Map of Post-Soviet Russia. *Polity. Analysis. Chronicle. Forecast*. 2005;(4):161–202. (In Russian).
13. Gudkov, I.V. Typologies of Electoral Behavior in the Context of Elections of Representative Bodies of the Russian Federation. *Man. Community. Management*. 2008;(2):14–29. (In Russian).
14. Election calendar (GAS-Elections of the Central Election Commission of the Russian Federation). (In Russian). Available online: <http://www.izbirkom.ru/region/izbirkom> [Accessed: 01.11.2025].
15. All-Russian Population Census. (In Russian). Available online: <https://rosstat.gov.ru/vpn/2020> [Accessed: 06.09.2025].
16. In Yakutia, the fewest votes were for Putin and the most for Grudinin. (In Russian). Available on: <https://yakutia.info/article/183550> [Accessed: 30.11.2025].
17. Siberian Record: Tuva Said “Yes” to Vladimir Putin. (In Russian). Available on: <https://regnum.ru/news/2392979> [Accessed: 01.07.2025].
18. Titkov, A.S. Democracy index for Russian regions: dynamics of the 1990–2010s. *Bulletin of Perm University. Political Science*. 2016;(2):81–104. (In Russian).

Статья поступила в редакцию 13.02.2026; одобрена после рецензирования 16.03.2026; принята к публикации 16.03.2026.

The article was submitted 13.02.2026; approved after reviewing 16.03.2026; accepted for publication 16.03.2026.



Эволюция пространственной структуры маршрутной сети городского общественного транспорта Владивостока

Денис Вадимович КОКОРИН
руководитель проектов в Академии транспортного планирования
dvkokorin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8162-2626>
Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, Россия

Аннотация. В статье изложены результаты исследования эволюции пространственной структуры интегральной маршрутной сети городского наземного общественного транспорта г. Владивосток (трамвай, автобус, маршрутное такси, фуникулер, троллейбус, электробус) с 1912 по 2022 г. Такое исследование проведено впервые: выявлены три периода в эволюции сети (1912–1958, 1958–1981, 1981–2020 гг.), каждый из которых завершался формированием нового топологического яруса в циклическом остове сети и имеет свои характерные особенности. Первый период эволюции, когда основу сети составляли трамвайные и автобусные маршруты, отличается чередованием сетевых и сестеразрушающих актов, вызванных сложными условиями развития общественного транспорта в городе. Второй отмечен появлением фуникулера, троллейбуса и маршрутных такси, увеличением роли автобусов. Его отличает быстрый рост сети в условиях ускоренного развития города, выразившийся в дендритизации и циклообразовании. Третий период характеризуется ослаблением роли трамвая и троллейбуса, доминированием автобуса в развитии пространственной структуры сети на меняющемся социально-экономическом фоне. Этот период подразделяется на две фазы: инерционного роста (1981–1997 гг.), с простым формированием дендритов и циклов; консолидационного роста (1997–2020 гг.), когда развитие сети ускорилося, а структура претерпела различные трансформации: произошла пространственная консолидация главного и побочного циклических остовов, автономных компонентов на п-ве Шкота и о-ве Русский. Также сформировался единый циклический остов городских и пригородных маршрутов Владивостока, Артёма и Надеждинского района. Маршрутная сеть г. Владивосток продолжает эволюционировать по пути усложнения пространственной структуры, не исчерпав потенциала развития.

Ключевые слова: Владивосток, общественный транспорт, пространственная структура, эволюционное развитие, сеть маршрутов

Для цитирования: Кокорин Д.В. Эволюция пространственной структуры маршрутной сети городского общественного транспорта Владивостока // Тихоокеанская география. 2026. № 3. С. 39–49. https://doi.org/10.35735/26870509_2026_27_4

Evolution of the spatial structure of Vladivostok urban public transport route network

Denis V. KOKORIN

Project manager in the Academy of Transport Planning

dvkokorin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8162-2626>

Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia

Abstract. This article presents the results of a study on the spatial evolution of the integrated ground public transport route network in Vladivostok, covering tram, bus, minibus, funicular, trolleybus, and electric bus services from 1912 to 2022. Using methods of transport geography and network topology, the study for the first time identifies three evolutionary periods: 1912–1958, 1958–1981, and 1981–2020. Each period concludes with the formation of a new topological tier in the network’s cyclic core, reflecting a fundamental structural transition. The first period, based on tram and bus routes, was marked by instability and alternating phases of network expansion and contraction, largely due to complex historical and infrastructural constraints. The second period saw the introduction of the funicular, trolleybus, and minibus systems, alongside the growing dominance of bus transport. That stage was characterized by rapid growth, expressed through processes of dendritization (branching) and cyclization (loop formation). The third period witnessed a decline in the structure-forming role of tram and trolleybus transport, with buses becoming the primary driver of spatial development. This period is subdivided into two phases: a phase of inertial growth (1981–1997), marked by the simple addition of dendrites and cycles, and a subsequent phase of consolidative growth (1997–2020). During the latter, development accelerated and became more integrated, leading to the spatial merger of the main and secondary cyclic cores, the incorporation of previously isolated network segments on the Shkota Peninsula and Russky Island, and the formation of a unified cyclic framework that connects urban routes in Vladivostok with suburban services to Artyom and the Nadezhdinsky District. The findings indicate that Vladivostok’s transport network continues to evolve toward greater spatial complexity and integration, with substantial unrealized potential for further development. This research provides an empirical foundation for informed transport planning in the expanding metropolitan area of the Russian Far East.

Keywords: Vladivostok, public transport, spatial structure, evolutionary development, route network

For citation: Kokorin D.V. Evolution of the spatial structure of Vladivostok urban public transport route network. *Pacific Geography*. 2026;(3):39–49. (In Russ.). https://doi.org/10.35735/26870509_2026_27_4

Введение

Для Владивостока, в силу его расположения на полуострове с сильно изрезанной береговой линией и сложным рельефом, высокой степени автомобилизации населения и острых проблем в работе общественного транспорта, актуален вопрос оптимальной конфигурации маршрутной сети последнего. На конец 2022 г. систему городского общественного транспорта города составляли несколько его видов: автобусы, маршрутные такси (автобусы малой вместимости), трамваи, троллейбусы, фуникулер, электробусы, электропоезда, катера и паромы. Несмотря на полимодальность, сеть маршрутов более чем на 90 % формировали маршруты автобусов.

Корректировка маршрутной сети, как правило, нацелена на устранение проблем, сложившихся на данный момент. Но конфигурация транспортной сети является также результатом эволюционных процессов пространственного саморазвития и самоорганизации сети [1]. При планировании изменений необходимо учитывать не только внешние фак-

торы, но и уровень зрелости пространственной структуры сети, достигнутый ею в ходе эволюции, а принимаемые решения по изменению конфигурации маршрутов должны соответствовать этому уровню.

Цель статьи – исследование эволюционного развития пространственной структуры маршрутной сети общественного транспорта г. Владивосток на протяжении всего времени ее существования. Задачи, поставленные для достижения цели: сбор данных об изменениях маршрутной сети, построение картосхем сети по годам, анализ хронологии изменений, выделение основных этапов и особенностей развития пространственной структуры.

Материалы и методы

Исследований, в которых рассматривается развитие городского транспорта Владивостока за некоторый продолжительный период, немного: глава книги В.А. Обертаса [2] в общих чертах освещает историю транспорта до 1917 г.; исторический очерк В.В. Розалиева рассказывает о владивостокском трамвае [3]; в статье Р.В. Вахненко в хронологическом порядке приводятся отдельные факты о развитии городского и внешнего транспорта [4]; статья Д.В. Кокорина охватывает начальный период развития трамвая и автобуса [5]. В основном публикации носят историко-краеведческий характер, ограничиваясь перечислением и описанием событий. Анализ маршрутной сети общественного транспорта г. Владивосток с точки зрения эволюции пространственной структуры сети не проводился.

По этой причине информация об изменениях в маршрутной сети собиралась из множества источников, которые можно разделить на четыре категории: 1) официальные документы органов власти г. Владивосток и Приморского края, предприятий и организаций сферы транспорта, коммунального хозяйства и градостроительства, как опубликованные, так и архивные; 2) газеты, выходившие в городе – более 30 наименований; 3) открытые источники, главным образом справочного характера: путеводители, адресно-телефонные книги и др.; 4) материалы личных архивов исследователей городского транспорта Владивостока.

Собранная информация позволила детально проследить развитие маршрутной сети общественного транспорта в 1912–2022 гг. и составить ретроспективные картосхемы интегральной маршрутной сети (включающей регулярные маршруты всех видов городского транспорта, за исключением морского и железнодорожного). При составлении картосхем учитывались все городские маршруты, в том числе выходящие за административные границы города, и пригородные маршруты, полностью пролегающие по территории современного Владивостокского городского округа (некоторые из них впоследствии стали городскими). В случае отсутствия точной информации о трассе маршрута и точках конечных остановок выбирались наиболее вероятные варианты их расположения по совокупности известных признаков, а датами открытия, изменения и закрытия маршрутов считались крайние даты зафиксированных упоминаний или утверждения графиков движения.

Анализ пространственной структуры сети проводился по методике С.А. Тархова [6], доступность и наглядность которой являются преимуществом перед сложными вычислительными моделями [1, 7, 8]. В соответствии с этой методикой картосхема сети преобразуется в планарный граф, выделяются простые элементы (ветви и циклы – линейные и замкнутые контуры) и компоненты (различные сочетания ветвей и циклов). Далее определяется тип сети: дерево (без циклов) или циклическая (есть хотя бы один цикл). В циклической сети при наличии выявляется циклический остов (два цикла или более, имеющих хотя бы одно общее ребро), сложность которого определяется количеством топологических ярусов (поясов циклов по периметру остова, которые нумеруются от внешней границы к центру), а в сети-дереве – ярусов разветвления (K). Ответвления от циклов именуются дендритами, а изолированные части сети – автономными компонентами. Эволюция сети состоит из сетеобразующих и сетеразрушающих актов.

Методику С.А. Тархова применял А.А. Уткин для анализа эволюции маршрутной сети общественного транспорта Твери [9], П.В. Зюзин при изучении пространственной трансформации сетей отдельных видов транспорта в городах Центральной и Восточной Европы [10], Р.Д. Панов в исследовании эволюции пространственной структуры метрополитенов мира [11], И.А. Иванов для ретроспективного анализа сети общественного транспорта г. Псков [12]. Пространственная структура сети маршрутов общественного транспорта г. Владивосток по состоянию на 2021 и 2022 гг. в различных аспектах при помощи этой методики проанализирована в работах П.В. Зюзина [13] и Д.В. Кокорина [14].

В статье приведены графы сети по годам (см. рис.), наиболее ярко отражающие развитие пространственной структуры маршрутной сети города и для которых имеются наи-

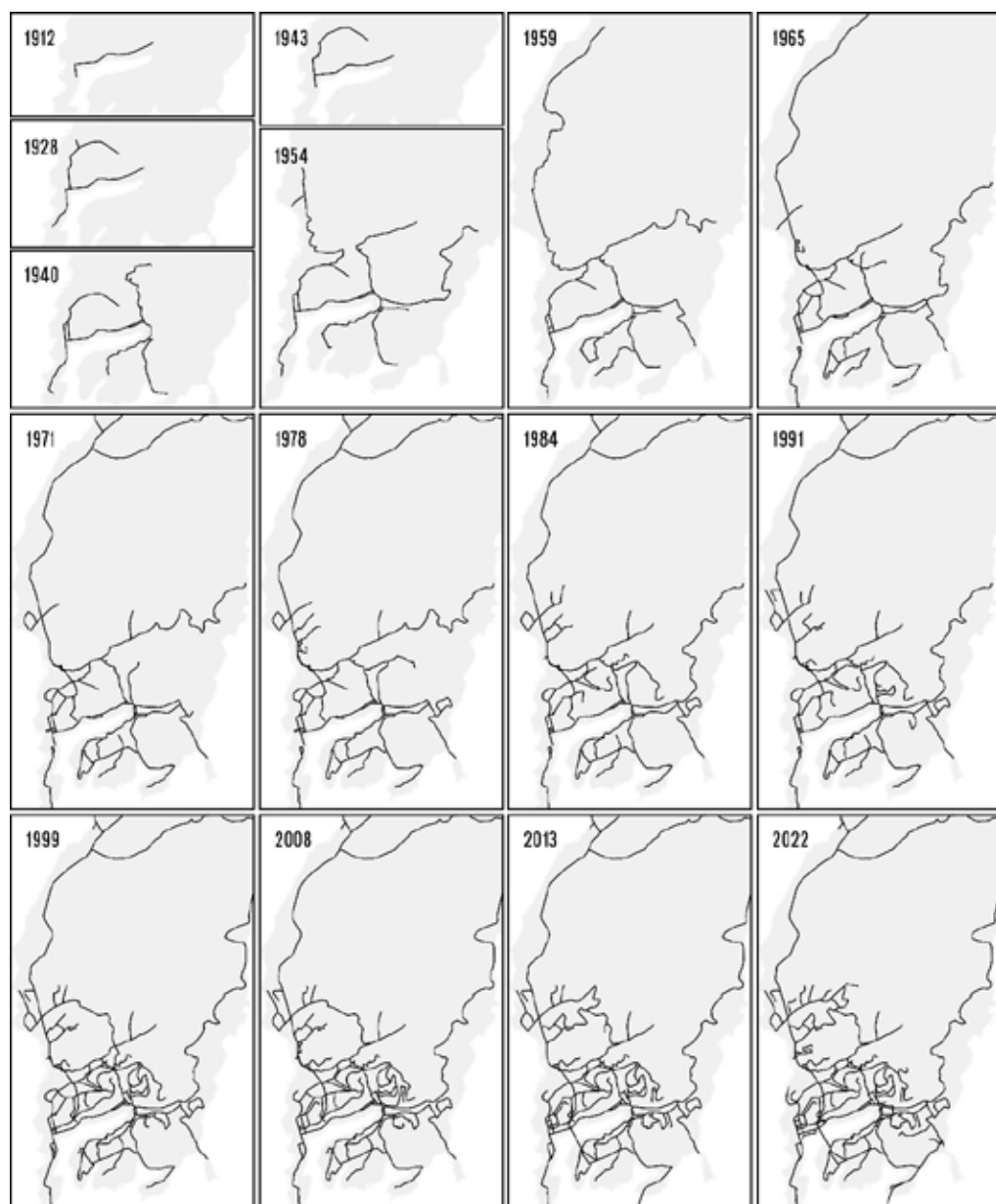


Рис. Эволюция маршрутной сети Владивостока

Fig. Evolution of the Vladivostok route network

более полные данные. Параметры сети на те же годы рассчитаны картометрически. Ввиду неполноты данных до 2013 г. не учитывались общая длина и структура автономных компонентов сети на островах Русский (с 1954 г.) и Попова (с 1974 г.), а также п-ове Песчаный. Известно, что их сети представляли собой простые ветви или деревья, а длина в разные годы варьировалась от 11 до 40 км.

Результаты и их обсуждение

Формирование маршрутной сети городского общественного транспорта Владивостока началось 27 октября (9 ноября по новому стилю) 1912 г., когда открылось регулярное движение трамваев по ул. Светланская, при том, что сама трамвайная линия была торжественно открыта чуть ранее – 9 (22) октября.

Хронологически эволюция пространственной структуры маршрутной сети общественного транспорта города делится на три периода, каждый из которых завершается усложнением морфологии сети – формированием нового топологического яруса (в 1958, 1981 и 2020 гг.).

Для **1-го периода, с 1912 по 1958 г.**, характерна неустойчивость пространственной структуры сети, основу которой составляли трамвайные и автобусные маршруты. В целом сохраняя тенденцию к постепенному расширению и уплотнению, сеть несколько раз упрощалась (табл. 1) вследствие внешних причин, как правило, исчезновения автобусных маршрутов (в 1924, 1932, 1942, 1943 гг.).

Таблица 1

Параметры маршрутной сети г. Владивосток в 1-й период эволюции

Table 1. Parameters of the Vladivostok route network in the 1st period of evolution

Индекс	1912	1928	1940	1943	1954
Длина сети маршрутов, км	5.2	12.1	29.1	11.9	52.7
Число циклов	0	0	2	0	2
Число автономных компонентов	1	1	1	1	2
Число внешних дендритов	0	0	4	0	4
Число внутренних дендритов	0	0	0	0	0
Число соединительных дендритов	0	0	1	0	1
Общее число дендритов в циклической сети	0	0	5	0	5

В 1912–18 гг. сеть представляла собой одну ветвь, соединявшую запад и восток города (линия трамвая Вокзал–Луговая), т.е. имела структуру простого дерева с $K = 1$. В 1918 г., с открытием второй трамвайной линии до ж.-д. станции Первая Речка сформировалась ветвь по направлению юг–север, до 1928 г. сеть соответствовала типу дерева с $K = 2$ («тройник» в терминологии С.А. Тархова [6]). Усложнение до дерева с $K = 3$ произошло со строительством в 1928 г. ответвления от Первореченской линии трамвая в направлении Рабочей слободки на севере города.

Автобусные маршруты в 1920–1924 гг. пролегали вдоль линий трамвая и поэтому влияли только на общую длину сети при выходе за пределы конечных остановок, а не на топологическую сложность – эти изменения были непродолжительными (например, в 1920 г. существовал маршрут до ст. Седанка, а зимой 1922 г. на Русский остров по льду). То же верно в отношении действовавшего в 1928–1932 гг. автобусного маршрута Вокзал–Эгершельд на п-ове Шкота.

В 1934–1935 гг. в маршрутной сети образовались первые два цикла, чему способствовал перенос трамвайных путей с ул. Китайская (ныне часть Океанского просп.) на ул. 25 Октября (Алеутская) и с ул. Ленинская (Светланская) на ул. Ивановская с одновременным восстановлением автобусного движения. В 1935 г. сеть приняла вид полициклической 0 класса с 3 ветвями, а в 1940 г. полициклической 0 класса многоостровной с 4 вет-

виями – в связи с открытием автобусных маршрутов в периферийные районы города: в долину Первой Речки (1936 г.), к бухтам Улисс (1939 г.) и Диомид (1940 г.); последний – на время бездействия паромной переправы через бухту Золотой Рог в зимний период.

В 1941–1942 гг. сеть упростилась до дерева с $K = 2$ по причине закрытия всех автобусных маршрутов в условиях военного времени и ликвидации в 1937 г. заезда трамвая к вокзалу станции Первая Речка. Временное восстановление движения автобусов от вокзала на Эгершельд осенью 1943 г. не стало началом возврата к прежней конфигурации. Кроме того, летом 1944 г. три недели бездействовал и трамвай (т.е. сеть находилась в состоянии консервации, по П.В. Зюзину [10]). Лишь возобновление его движения с 1 августа 1944 г. и автобусного в декабре (маршрут Вокзал–Луговая) обратили процесс сетеразрушения. Рост сети носил неровный характер до середины 1950-х гг., когда обновление подвижного состава и совершенствование покрытия улиц сделало работу автобусов и трамваев на маршрутах более стабильной.

В 1947–1958 гг. в сети наблюдалось ветвление на окраинах города, хотя некоторые ответвления быстро исчезали: в 1948–1949 гг. дважды открывался автобусный маршрут Вокзал–ст. Вторая Речка, в 1955 г. его продлили до 14-го км, а в 1956 г. до ст. Океанская. В 1949–1950 гг. открыты маршруты Луговая–6-й километр (Дальхимпром), Луговая–Загородная ул. (Борисенко), с продлением затем до Зелёного Угла (ныне район ул. Сахалинской), Вокзал–Горностай (через Снеговую). В 1953 г. введена в строй трамвайная линия от Луговой до Загородной.

Несмотря на появление новых автобусных маршрутов, движение сохранялось преимущественно там, где они дублировали трамвайные линии, а также в ограниченном виде на Эгершельд и мыс Чуркин (до 1954 г. вводился на зиму). В 1958 г. был открыт автобусный маршрут Вокзал–Морской городок и в том же году маршрут от вокзала на 6-й километр через долину Первой Речки (по ул. Военное шоссе и Снеговая). В результате сформировался циклический остов, ставший первым топологическим ярусом. Также в январе 1954 г. возник автономный компонент сети на о-в Русский благодаря открытию автобусного маршрута Дом офицеров флота–пос. Рында.

2-й период, с 1958 по 1981 г., характеризуется постепенным усложнением пространственной структуры маршрутной сети и относительной устойчивостью циклического остова при общем увеличении количества как циклов, так и дендритов.

В этот период существенно повысилось значение автобусных маршрутов. Ввод новых участков улиц и дорог, особенно в районах активного жилищного и промышленного строительства, требовал быстрых изменений в маршрутной сети, что мог обеспечить только автомобильный транспорт. В связи с этим сначала втрое (с 5 до 16) увеличилось число внешних, внутренних и соединительных дендритов, часть из которых ко 2-й половине периода сомкнулась в циклы, но затем, к его концу, количество дендритов вновь увеличилось и стало приближаться к 20 (табл. 2). Маршруты, их образовавшие, преимущественно пролегали либо в новые микрорайоны, либо к новым предприятиям (фабрика «Заря», завод «Варяг», ТЭЦ-2, совхоз «Приморье» и др.).

Дендритизация сети в северном направлении была обусловлена прежде всего освоением рекреационных ресурсов дачной и курортно-санаторной зоны, а не строительством жилья или промышленных объектов (маршруты до 28-го км в 1961 г., в Садгород в 1965 г., к бухте Шамора (Лазурная) в 1966 г., до ст. Угольная в 1969 г., к бухте Емар в 1979 г.). Исключением являются некоторые дендриты с восточной стороны остова: так, трасса маршрута № 7 (позднее № 26) Вокзал – Луговая – пос. Горностай / пос. Рыбачий переносилась несколько раз (в 1959, 1962, 1965, 1980 гг.) с ул. Беговая (Фадеева) на Снеговую и обратно по причине строительных работ в районе бухты Тихая и неудовлетворительного состояния дорог.

В 1959 г. сеть имела вид циклической 1 класса многоостровной, с изолированным циклом-островом в южной части (сформирован автобусными маршрутами от Луговой к бухте Диомид). На его основе в конце 1961 г. возник побочный циклический остов: в ре-

Таблица 2

Параметры маршрутной сети г. Владивосток во 2-й период эволюции

Table 2. Parameters of the Vladivostok route network in the 2st period of evolution

Индекс	1959	1965	1971	1978
Длина сети маршрутов, км	70.9	108.5	129.1	140.5
Число топологических ярусов	1	1	1	1
Число циклов	5	16	20	22
Число циклов в 1-м ярусе	4	9	11	11
Число циклов в главном циклическом осто́ве	4	9	11	11
Число внеостовных циклов	1	5	3	5
Число автономных компонентов	2	3	3	4
Число побочных остовов	0	1	1	1
Число внешних дендритов	3	10	7	10
Число внутренних дендритов	1	3	4	3
Число соединительных дендритов	1	3	1	3
Общее число дендритов	5	16	12	16

зультате продления по ул. Олега Кошевого до ул. Окатовая маршрут № 4 соединился с маршрутом № 13 Луговая–мыс Анна, проходившим с 1959 г. через ул. 40 лет ВЛКСМ и Коммунаров. После открытия в 1967 г. маршрута № 8 Луговая–Запорожская ул. (в 1980 г. вместе с № 4 стал кольцевым) и в 1970–1971 гг. маршрутов № 27, 30, 31 из района бухты Тихая на мыс Чуркин и в центр города по ул. Фадеева структура побочного циклического осто́ва в этот период почти не менялась.

В течение 2-го периода в сети появились два новых автономных компонента: в 1961 г. произошла изоляция части сети на п-ове Шкота в результате переноса участка автобусного маршрута № 1 Вокзал–Маяк с ул. Верхнепортовая на Посыетскую. А в 1974 г. с открытием автобусного маршрута возник автономный компонент на о-ве Попова. Таким образом, к концу 2-го периода сеть включала четыре автономных компонента (вместе с главным).

Влияние на развитие сети общественного транспорта стали оказывать и новые его виды: фуникулер (открыт 5 мая 1962 г.) и троллейбус (открыт 29 января 1965 г.). Если первый так и остался уникальным элементом транспортной системы, сформировавшим одну ветвь в структуре сети (до 1965 г. автономный компонент), то троллейбус на отдельных участках заменил или потеснил автобусы: в 1965–1966 гг. исчезли некоторые их маршруты с ул. Русская и просп. 100-летия Владивостока, а в 1976 г. троллейбусная линия по ул. Гоголя до верхней станции фуникулера заменила автобусный маршрут № 17 (от ул. Багратиона).

Одновременно ослабла структурообразующая роль трамвая: если продление линии от ул. Загородная до ул. Сахалинской в 1962 г. привело к появлению нового цикла при соединении с автобусным маршрутом № 6 (Луговая–мыс Басаргина), то линия вдоль ул. Луговой в Минный городок, открытая в 1967 г., повторяла трассы действовавших там автобусных маршрутов и на конфигурацию сети не повлияла.

Новые троллейбусные линии послужили формированию в 1981 г. второго топологического яруса из одного цикла: ликвидация конечной остановки в Спортивной гавани с открытием новой на ул. Адмирала Фокина, с выездом на ул. Колхозную (Семёновская), привела к исчезновению одного циклического элемента у внешней стороны осто́ва и появлению внутреннего микроцикла, который и стал первым циклом второго топологического яруса. Сеть стала циклической 2 класса многоостовной.

В течение 3-го периода, с 1981 по 2020 г., эволюция сети шла с небольшим количеством сетеразрушающих актов, которые в основном были связаны с размыканием циклов внутри или по внешней стороне главного циклического осто́ва.

3-й период эволюции включает две фазы, различающиеся по интенсивности формирования пространственной структуры маршрутной сети и специфике преобладающих

процессов. Различия между фазами отражают происходившие в городе социально-экономические изменения, в частности появление коммерческих автобусных маршрутов и массовую автомобилизацию населения, потребовавшую развития дорожной инфраструктуры, за чем последовало расширение и маршрутной сети.

В первой фазе, с 1981 по 1997 г., продолжались процессы, характерные для 2-го периода: рост внешних и внутренних дендритов, формирование циклов по периметру циклических остовов. Появились дендриты, образованные маршрутами автобусов, троллейбусов и маршрутных такси в районы ул. Днепроvская (1981 г.), завода «Варяг» (1982 г.), ул. Нейбута и Сабанеева (1983 г.), ул. Запорожская (1984 г.), ул. Толстого (1986 г.), ул. Сафонова и ул. Кирова (1987 г.), ул. Сабанеева (1991 г., повторно), Зелёного Угла (1993 г.); циклы, образованные маршрутами автобусов, трамваев, маршрутных такси – в 64-м микрорайоне (1987 г.), пос. Трудовое (1988 г.), ул. Баляева (1991 г.), ул. Вилкова (1997 г.).

Вторая фаза, с 1997 по 2020 г., отличается глубокой трансформацией морфологии сети. Граничным событием является дробление побочного циклического остова в результате открытия маршрута № 49 Вокзал–Окатовая. В 1997–1998 гг. началось уплотнение ядра главного остова: в связи со строительством развязки на ул. Гоголя автобусный маршрут № 38 Семёновская–Толстого стал пролегать через ул. Суханова, там же прошла троллейбусная линия. Необходимость разгрузки городского центра в условиях роста числа маршрутов требовала разграничения направлений их движения: количество циклов увеличилось с 5 в 1996 г. до 13 в 2020 г. Также произошло присоединение автономного компонента сети на п-ове Шкота.

Во время второй фазы в восточной части сети сформировался обширный цикл, образованный маршрутами автобусов к бухте Емар на участках от ст. Океанская и пос. Горнотай. С 1999 по 2006 г. цикл существовал только в летний сезон, при этом вначале временно консолидируя главный и побочный циклические остовы (пока сохранялась связь между улицами Фадеева и Сахалинской). С 2006 г., когда маршрут через пос. Горнотай стал круглогодичным, площадь главного остова выросла в 6 раз.

В 2008 г. начались работы по строительству новых и реконструкции существующих объектов дорожной инфраструктуры в рамках подготовки к саммиту АТЭС 2012 г. Параллельно в городе развернулось строительство новых жилых микрорайонов на периферии (Снеговая Падь, Патрокл, Зелёный Угол и др.). Маршруты трамвая и троллейбуса почти потеряли значение для эволюции сети из-за существенного сокращения обслуживаемых направлений, и быстрое расширение маршрутной сети в новые жилые микрорайоны, как и во 2-м периоде, могли обеспечить только автобусы: новые циклы по периметру «старого» остова снова увеличили его площадь.

В 2012 г. были открыты для движения автотранспорта мосты через бухту Золотой Рог и на о-в Русский, а в январе 2013 г. и первые маршруты автобусов по ним. В результате произошло окончательное соединение главного и побочного циклических остовов. Включение в общую сеть автобусных маршрутов о-ва Русский привело к исчезновению островного автономного компонента.

Благодаря открытию 18 июля 2020 г. автобусного маршрута № 5 Площадь Борцов Революции–Назимовская батарея, сформировался третий топологический ярус, что стало завершением 3-го и началом 4-го периода эволюции маршрутной сети. Цикл, образованный линиями маршрутов по ул. Гоголя, Некрасовская и Всеволода Сибирцева вблизи северной оконечности Золотого моста, по состоянию на 2022 г. оставался единственным элементом в составе третьего топологического яруса (табл. 3). Сеть приняла вид циклической 3 класса одноостовной. Появившийся в 2020 г. маршрут электробуса № 90 Вокзал–Луговая не оказал никакого воздействия на структуру сети, так как полностью повторял трассы существующих автобусных маршрутов.

Структурно значимым событием в рамках 3-го периода также следует считать и формирование единого циклического остова сетей городских и пригородных автобусных маршрутов г. Владивосток, г. Артём и Надеждинского района – с 2015 г. по низководному

Параметры маршрутной сети г. Владивосток в 3-й и 4-й периоды эволюции

Table 3. Parameters of the Vladivostok route network in the 3rd and 4th periods of evolution

Индекс	1984	1991	1999	2008	2013	2022
Длина сети маршрутов, км	158.5	165.9	211.4	213.0	273.4	327.6
Число топологических ярусов	2	2	2	2	2	3
Число циклов	23	21	47	40	51	58
Число циклов в 1-м ярусе	10	10	28	20	27	26
Число циклов во 2-м ярусе	1	1	11	9	18	27
Число циклов в 3-м ярусе	0	0	0	0	0	1
Число циклов в главном циклическом остове	11	11	39	29	45	54
Число внеостовных циклов	7	6	2	4	5	5
Число автономных компонентов	4	4	3	3	2	3
Число побочных остовов	1	1	2	1	0	0
Число внешних дендритов	11	14	13	14	12	14
Число внутренних дендритов	5	5	12	14	12	20
Число соединительных дендритов	4	3	4	4	5	5
Общее число дендритов	20	22	29	32	29	39

мосту через Угловой залив пролегает пригородный маршрут № 111, а с 2012 г. два городских маршрута № 45 и № 48 выходят на территорию г. Артём. Это свидетельствует о процессах интеграции в агломерации г. Владивосток [15].

Примечательно, что к концу каждого периода общая длина линейных элементов главного компонента сети увеличивалась примерно в 2 раза (с ~70 км в конце 1-го периода до ~150 км в конце 2-го периода, затем до ~300 км в конце 3-го периода), а к концу первой фазы 3-го периода примерно наполовину (до ~210 км). Данное наблюдение позволяет выдвинуть гипотезу о связи метрических свойств сети с морфологическими, что дополнило бы концепцию топологического предела сети (максимальное число циклов в остове, после которого повышается класс топологической сложности сети, по Р.Д. Панову [16]), но требует эмпирической проверки.

Заключение и выводы

Исследование эволюции пространственной структуры маршрутной сети общественного транспорта г. Владивосток показало, что сеть не достигла пределов сложности своей пространственной организации – лимитирующими факторами выступают географические барьеры: рельеф, сложная береговая линия, неоднородность территории. Выявлены три периода эволюции, которые различаются по скорости и характеру преобладающих процессов.

1-й период эволюции (1912–1958 гг.) характеризуется медленным неустойчивым ростом. Развитие сети было сопряжено с развитием города: увеличивалась транспортная связность разных его частей с центром и ключевыми городскими предприятиями. Структурно значимые события: появление сети (1912 г.), первое ветвление (1918 г.), появление первого цикла (1934 г.), появление первого автономного компонента (1954 г.), формирование циклического остова (1958 г.).

2-й период эволюции (1958–1981 гг.) характеризуется быстрым расширением (дендритизация) и уплотнением (циклообразование) сети. Развитие сети следовало за пространственно-функциональным развитием города. Структурно значимые события: появление побочного циклического остова (1961 г.), появление нескольких автономных компонентов (1961, 1962, 1974 гг.), увеличение топологического диаметра (1961, 1969 гг.), завершение формирования побочного циклического остова (1971 г.), формирование второго топологического яруса (1981 г.).

3-й период эволюции (1981–2020 гг.) делится на две фазы: инерционного роста (1981–1997 гг.) и консолидации (1997–2020 гг.). Вначале развитие сети было догоняющим, а затем стремящимся к насыщению территории маршрутами. Структурно значимые события: дробление побочного остова (1997 г.), расширение главного циклического остова (2006 г.), пространственная консолидация автономных компонентов (1998, 2013 гг.), главного и побочного остовов (2013 г.), формирование циклического остова агломерации (2015 г.), формирование третьего топологического яруса (2020 г.).

4-й период эволюции (с 2020 г.), вероятно, будет отличаться снижением интенсивности расширения циклического остова сети, более активным ростом внутренних и внешних дендритов, разделением и уплотнением циклов внутри остова. Однако для того, чтобы достичь 4-го класса топологической сложности, потребуется существенно уплотнить маршрутную сеть, что может оказаться неэффективно с точки зрения обслуживания территории общественным транспортом. Тем не менее даже небольшое увеличение числа циклических элементов в остове сети повышает ее надежность. Следовательно, планирование развития маршрутной сети в г. Владивосток должно быть направлено на преодоление лимитирующих факторов через избирательное увеличение цикличности.

Литература

1. Xie F., Levinson D.M. *Evolving Transportation Networks*. New York: Springer Science & Business Media, 2011. 278 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9804-0>.
2. Обертас В.А. Основы градостроительной структуры Владивостока. Владивосток: Ин-т архитектуры, искусств и дизайна ДВГТУ, 2011. 115 с.
3. Розалиев В.В. Трамвай Владивостока. Краткий исторический очерк. 1912–2012. М., 2014. 108 с.
4. Вахненко Р.В. Транспортные функции Владивостока и актуальные проблемы развития // Владивосток: история и современность: Материалы научно-практической конференции, посвященной 150-летию Владивостока. 19 апреля 2010 г. Владивосток: Издательство ГОБУ ДПО ПКППРО, 2011. С. 32–43.
5. Кокорин Д.В. Становление городского общественного транспорта Владивостока: трамвай и автобус // Записки Общества изучения Амурского края. 2025. Т. 50. С. 12–19.
6. Тархов С.А. Эволюционная морфология транспортных сетей. Смоленск; Москва: Универсум, 2005. 384 с.
7. Barthélemy M. *Morphogenesis of Spatial Networks*. Cham: Springer International Publishing, 2018. 331 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-20565-6>.
8. Liang J., Xie S., Bao J. Analysis of a Multiple Traffic Flow Network's Spatial Organization Pattern Recognition Based on a Network Map // *Sustainability*. 2024. Vol. 16, N 3. 1300. <https://doi.org/10.3390/su16031300>.
9. Уткин А.А. Общественный транспорт крупного города: Географическое исследование на примере Твери. Тверь: Научная книга, 2010. 133 с.
10. Зюзин П.В. Пространственная трансформация сетей городского пассажирского транспорта в постсоциалистических странах ЦВЕ и бывшего СССР // Региональные исследования. 2012. № 1 (35). С. 124–134.
11. Панов Р.Д. Эволюция пространственной структуры сетей крупнейших метрополитенов мира // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2020. № 1. С. 20–26.
12. Иванов И.А. Эволюция сети маршрутов общественного транспорта города Пскова в XX – начале XXI вв. // Вестник Псковского государственного университета. Серия: Естественные и физико-математические науки. 2022. Т. 15, № 3. С. 19–30.
13. Зюзин П.В. Транспортные системы городов России: современное состояние и перспективы развития: докл. к XXIII Ясинской (Апрельской) междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества. М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2022. 80 с.
14. Кокорин Д.В. Дефекты пространственной структуры маршрутной сети общественного транспорта Владивостока // Геосистемы Северо-Восточной Азии: природные, природно-ресурсные и социально-экономические структуры. Владивосток: ФГБУН Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, 2023. С. 227–231.
15. Аникеев В.В. Территориальное развитие города Владивосток и его агломерации // Тихоокеанская география. 2023. № 2. С. 23–36. https://doi.org/10.35735/26870509_2023_14_2.
16. Панов Р.Д. Изменения пространственной структуры сетей метрополитенов Китая // Проблемы региональной экологии. 2020. № 1. С. 79–87. <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2020-11079>.

References

1. Xie, F.; Levinson, D.M. *Evolving Transportation Networks*. New York: Springer Science & Business Media, 2011; 278 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9804-0>.
2. Obertas, V.A. *Foundations of the Urban Planning Structure of Vladivostok*. Vladivostok: Institute of Architecture, Arts and Design, FESTU, Russia. 2011; 115 p. (In Russian).
3. Rozaliev, V.V. *Vladivostok Tramway. A Brief Historical Essay*. 1912–2012. Moscow, Russia, 2014; 108 p. (In Russian).
4. Vakhnenko, R.V. Transport Functions of Vladivostok and Current Development Problems. In *Vladivostok: History and Modernity: Proceedings of the Scientific and Practical Conference Dedicated to the 150th Anniversary of Vladivostok*. April 19, 2010. Vladivostok: Publishing House of PSEI PTEI PCPRO, 2011:32–43. (In Russian).
5. Kokorin, D.V. Formation of urban public transport in Vladivostok: tram and bus. *Notes of the Amur Region Studies Society*, 2025;(50):12–19. (In Russian).
6. Tarkhov, S.A. *Evolutionary Morphology of Transport Networks*. Universum: Smolensk – Moscow, Russia. 2005; 384 p. (In Russian).
7. Barthelemy, M. *Morphogenesis of Spatial Networks*. Cham: Springer International Publishing, 2018; 331 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-20565-6>.
8. Liang, J.; Xie, S.; Bao, J. Analysis of a Multiple Traffic Flow Network's Spatial Organization Pattern Recognition Based on a Network Map. *Sustainability*. 2024;16(3):1300. <https://doi.org/10.3390/su16031300>.
9. Utkin, A.A. Public Transport of a Large City: A Geographical Study on the Example of Tver. *Nauchnaya Kniga: Tver, Russia*. 2010; 133 p. (In Russian).
10. Zhyuzin, P.V. Spatial Transformation of Urban Public Transport Networks in Post-Socialist Countries of CEE and the Former USSR. *Regional Research*. 2012;1(35):124–134. (In Russian).
11. Panov, R.D. Evolution of Spatial Structure of the World's Biggest Subway Networks. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2020;(1):20–26. (In Russian).
12. Ivanov, I.A. Evolution of the Public Transport Route Network of the City of Pskov in the 20th – Early 21st Centuries. *Bulletin of Pskov State University. Series: Natural and Physical-Mathematical Sciences*. 2022; 15(3):19–30. (In Russian).
13. Zhyuzin, P.V. Transport Systems of Russian Cities: Current State and Development Prospects. In *Report for the XXIII Yasinskaya (April) International Academic Conference on Economic and Social Development*. HSE Publishing House: Moscow, Russia. 2022; 80 p. (In Russian).
14. Kokorin, D.V. Defects of the Spatial Structure of the Public Transport Route Network in Vladivostok. In *Geosystems of Northeast Asia: Natural, Natural Resource and Socio-Economic Structures*. Pacific Geographical Institute FEB RAS: Vladivostok, Russia. 2023:227–231. (In Russian).
15. Anikeev, V.V. Territorial Development of Vladivostok City and Its Agglomeration. *Pacific Geography*. 2023;(2):23–36. (In Russian). https://doi.org/10.35735/26870509_2023_14_2.
16. Panov, R.D. Changes of Spatial Structure of Chinese Subway Networks. *Problems of Regional Ecology*. 2020;(1):79–87. (In Russian). <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2020-11079>.

Статья поступила в редакцию 09.02.2026; одобрена после рецензирования 16.03.2026; принята к публикации 20.03.2026.

The article was submitted 09.02.2026; approved after reviewing 16.03.2026; accepted for publication 20.03.2026.



Методика измерения и интерпретации фаз жизненного цикла трубопроводного проекта (ЖЦТ): минимально достаточный фазовый индикаторный набор

Мустафа МАФРАТОГЛУ
аспирант, кафедра экономической географии
m.mafratoglu@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0005-5029-5710>
РГПУ им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Статья посвящена разработке методической схемы, позволяющей интерпретировать фазы жизненного цикла трубопроводного проекта (ЖЦТ) не как простую календарную последовательность проектных стадий, а как смену относительно устойчивых пространственно-институциональных режимов. Такой подход необходим потому, что магистральные трубопроводы функционируют как протяженные трансграничные коридоры, пересекающие разные юрисдикции, природно-географические барьеры и режимы регулирования. В инженерных описаниях жизненный цикл обычно представлен как стадийная схема, удобная для управления проектом, но недостаточная для анализа пространственно неоднородных инфраструктурных систем. Показано, что фазы ЖЦТ целесообразно распознавать по сочетанию процесса, фазового порога и ключевого результата. Это позволяет фиксировать фазовую асинхронность, наложение режимов и одновременное развитие отдельных сегментов трубопроводного коридора без сведения этих различий к одному интегральному показателю. На этой основе предложен минимально достаточный фазовый индикаторный набор из 21 показателя, организованный по схеме «два процессных и один пороговый индикатор» для каждой фазы. Набор предназначен не для ранжирования проектов, а для внутрифазовой интерпретации и сопоставимого анализа. Для каждого индикатора определены фазовая привязка, форма наблюдения, допустимые типы источников и условия проверяемого кодирования. При нехватке прямых данных допускается ограниченное использование косвенных показателей с обязательной маркировкой допущений и обоснованием связи с измеряемым компонентом. Полученный результат имеет методологический характер и рассчитан на дальнейшую эмпирическую апробацию на материалах конкретных трубопроводных коридоров.

Ключевые слова: жизненный цикл трубопроводного проекта, пространственно-фазовая модель, измерительная архитектура, фазовая интерпретация, трансграничные трубопроводные коридоры

Для цитирования: Мафратоглу М. Методика измерения и интерпретации фаз жизненного цикла трубопроводного проекта (ЖЦТ): минимально достаточный фазовый индикаторный набор // Тихоокеанская география. 2026. № 3. С. 50–63. https://doi.org/10.35735/26870509_2026_27_5

Methodology for Measuring and Interpreting the Phases of the Pipeline Project Life Cycle Model: A Minimally Sufficient Phase Indicator Set

Mustafa MAFRATOGLU

Postgraduate student, Department of Economic Geography

m.mafratoglu@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0005-5029-5710>

Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg, Russia

Abstract. This article develops a methodological framework for measuring and interpreting the phases of the pipeline project life cycle under conditions of spatial, institutional, and data heterogeneity. The study addresses the problem that long-distance pipeline systems are often described through engineering or project-management stages, while their actual development unfolds within extended cross-border corridors, different regulatory jurisdictions, physical-geographical barriers, and changing actor configurations. For this reason, a purely calendar-based understanding of the life cycle is insufficient for analyzing spatially uneven infrastructure systems. The article argues that the phases of the pipeline project life cycle should be interpreted as relatively stable spatial-institutional regimes rather than as fixed chronological stages. Each phase can be identified through the relationship between an ongoing process, a phase threshold, and a key result. This logic makes it possible to capture phase asynchrony, overlap between regimes, and uneven development of individual corridor segments without reducing these differences to a single composite indicator or project ranking. On this basis, the article proposes a minimally sufficient phase indicator set consisting of 21 indicators. The set is organized according to a 2+1 configuration for each phase including two process indicators and one threshold indicator. Process indicators describe the formation of a phase-specific regime, while threshold indicators record the event or documented condition through which the key result of the phase becomes analytically fixed. For each indicator, the article specifies its phase linkage, form of observation, admissible source types, and minimum conditions for verifiable coding. Where direct evidence is unavailable or incomplete, indirect indicators may be used only under a restricted regime that requires explicit labeling of assumptions and justification of their connection with the measured component. The resulting framework is methodological in nature and is intended for further empirical testing on specific pipeline corridors.

Keywords: pipeline project life cycle, spatial-phase model, measurement architecture, phase interpretation, phase indicator set, cross-border pipeline corridors

For citation: Mafratoglu M. Methodology for Measuring and Interpreting the Phases of the Pipeline Project Life Cycle Model: A Minimally Sufficient Phase Indicator Set. *Pacific Geography*. 2026;(3):50–63. (In Russ.). https://doi.org/10.35735/26870509_2026_27_5

Введение

Магистральные трубопроводные проекты формируют протяженные линейные системы современной энергетической инфраструктуры. Они пересекают природно-географические барьеры, административные границы и разные институциональные режимы. В логистической географии такие системы рассматриваются как пространственно организованные потоки, закрепленные в коридорах и узлах [1]. Их устойчивость определяется не только технической пропускной способностью, но и конфигурацией маршрута, транзитными режимами и степенью институциональной управляемости потоков. Как крупные инфраструктурные проекты, магистральные трубопроводы отличаются высокой капиталоемкостью, длительным циклом реализации и сложным составом участников [2].

Устойчивость маршрута зависит не только от технических параметров, но и от переговорных режимов, транзитного торгового и отношений между государствами и компаниями [3,

4]. Поэтому трубопроводный проект можно рассматривать как инфраструктурную систему потоков, в которой пространственная конфигурация и институциональная согласованность совместно определяют устойчивость коридора.

В анализе трубопроводной инфраструктуры сохраняется методологический разрыв. Модели жизненного цикла и фазовые схемы применительно к трубопроводному транспорту нередко остаются описательными. Стадии фиксируются как последовательность, но не получают сопоставимых измерителей, пригодных для межпроектного и межкуридорного анализа [5].

Для магистрального трубопровода как протяженной системы такое ограничение особенно существенно. Разные участки трассы, узлы и пограничные пересечения могут одновременно находиться в разных режимах согласования, управляемости и риска [1, 5]. Поэтому фазу трудно сводить к единому календарному интервалу. Длительный жизненный цикл трассы, ограниченные возможности переориентации потоков и зависимость от транзитных режимов делают особенно важными пороговые события — инвестиционные решения, договорные фиксации и ввод в эксплуатацию. Такие события позволяют определить доминирующую фазу [2, 3]. Особенно наглядно эта проблема проявляется в Черноморско-Каспийском макрорегионе, где трубопроводные маршруты включены в конкурирующие геоэкономические и транспортно-инфраструктурные конфигурации [6].

Жизненный цикл трубопроводного проекта (ЖЦП) ранее был обоснован как пространственно-фазовая модель, в которой трубопроводная инфраструктура трактуется не только как последовательность инженерно-технологических стадий, но и как смена относительно устойчивых пространственно-институциональных состояний энергетического коридора [5]. Однако для аналитического применения модели необходима измерительная схема, позволяющая фиксировать фазы по наблюдаемым и сопоставимым признакам, а не только по календарному положению проекта.

Цель статьи состоит в разработке воспроизводимой логики фазовой интерпретации ЖЦП и формировании минимально достаточного фазового индикаторного набора. Для достижения цели решаются три задачи: определить показатели, соотносимые с отдельными фазами модели; установить минимальные правила их операционального описания; определить источники, достаточные для воспроизводимого кодирования.

Материалы и методы

Основное внимание уделено правилам перевода пространственно-фазовой модели ЖЦП [5] в процедуру воспроизводимого анализа и построения минимально достаточного фазового индикаторного набора. В центре анализа находятся три вопроса: по каким признакам можно распознать доминирование фазы; какие показатели позволяют зафиксировать процесс и фазовый порог; какие источники достаточны для проверяемого кодирования.

Источниковая база исследования включает проектно-технические материалы, корпоративную отчетность, государственные стратегии и программы, регуляторные решения, межгосударственные соглашения, материалы оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) и оценки экологического и социального воздействия и др. Статья ограничена методической постановкой вопроса: не проводится оценка отдельных проектов, не строятся межпроектные рейтинги и композитные индексы, не выполняется численная профилизация и не разрабатывается полный протокол реализации в геоинформационной системе (ГИС). Эти задачи отнесены к следующему этапу эмпирической апробации.

ЖЦТ как измерительная архитектура: плоскости интерпретации

ЖЦТ используется как измерительная архитектура. Фаза понимается не как календарная стадия, а как относительно устойчивый пространственно-институциональный режим функционирования и управления инфраструктурой. Такое понимание соотносится с представлениями общественной географии о пространственной организации общества [7], с подходами гуманитарной географии к институционализации исследовательских полей [8], а также с трактовкой территориальных систем как пространственно организованных сочетаний хозяйства, населения, инфраструктуры и управления [9]. В более широком контексте такая трактовка согласуется и с современными исследованиями логистических пространств и инфраструктурных потоков, где устойчивость системы связывается с конфигурацией связей, режимами координации и организацией движения потоков [1].

Измерительная интерпретация ЖЦТ строится в трех взаимосвязанных плоскостях: пространственной, институциональной и акторной. Пространственная плоскость показывает, где фиксируются признаки фазы: на сегментах трассы, в узлах, коридорах и пограничных пересечениях. Институциональная плоскость отражает степень нормативной определенности маршрута, устойчивость межгосударственных и корпоративных соглашений, а также адаптацию транзитных и эксплуатационных режимов. Акторная плоскость позволяет описывать состав участников, распределение ответственности и плотность взаимодействий, что важно для трансграничных коридоров с многоуровневой системой управления [2–4]. В такой логике фаза выступает как состояние проекта, распознаваемое через связь ключевого результата, порогового события и процесса его достижения.

Индикаторное поле ЖЦТ строится по фазовому принципу. Каждый показатель связан с той фазой, в которой он имеет наибольшее интерпретационное значение, и фиксируется либо как процессный, либо как пороговый. Процессные индикаторы показывают ход формирования фазового состояния: изменение потоков, усложнение состава участников, стабилизацию эксплуатационных параметров, динамику участия и другие признаки, предшествующие достижению фазового порога. Пороговые индикаторы, напротив, фиксируют момент институционального или операционного закрепления фазы: принятие решения, ввод объекта в эксплуатацию, деэскалацию конфликтности или вывод инфраструктуры из эксплуатации.

Поэтому пороговые переменные целесообразно задавать в формате «наличие / дата» либо как иной событийно-временной маркер. Процессные переменные могут измеряться в метрических, относительных или нормированных шкалах и интерпретируются как признаки приближения к ключевому результату соответствующей фазы.

Для ряда фаз процессные индикаторы отражают не отдельные факты, а структурные условия формирования соответствующего режима. Например, число пересечений государственных границ и плотность гидропереходов характеризуют не только морфологию трассы, но и переговорную, разрешительную и инженерную нагрузку маршрута на фазе II. Аналогично земельно-имущественные споры и процедуры отчуждения на фазе IV фиксируют не единичный юридический эпизод, а социально-правовой процесс, влияющий на управляемость строительной логистики и достижение порога «первый поток».

Фазовая атрибуция, ключевой результат и межфазовые переходы

Ключевой результат фазы не означает ее мгновенного завершения. В трансграничных линейных инфраструктурных проектах достижение ключевого результата показывает, что фаза реализовала свой основной аналитический эффект. Однако связанные с ней процессы могут сохраняться и после этого. После его достижения начинается следующая фаза, тогда как предыдущая может продолжать действовать на отдельных сегментах трассы, в узлах, пограничных пересечениях или в отдельных контурах управления.

Поэтому межфазовый переход в логике ЖЦТ понимается не как одномоментная замена одной стадии другой, а как пространственно асинхронное смещение доминирующего режима. Такая трактовка важна для международных трубопроводных проектов, где участки коридора и уровни институциональной координации развиваются в разных ритмах. Подобная неодновременность и наложение режимов согласуются с выводами исследований мегапроектов и пространственно организованных потоков [1, 2].

Фазовая атрибуция не сводится к отнесению проекта к фазе по одному признаку. Она строится на согласованном чтении пороговых и процессных индикаторов и сопоставлении разнородных источников. Если фазовый порог документально зафиксирован и не противоречит процессным признакам, именно он служит главным ориентиром для атрибуции. Если порог еще не достигнут или его фиксация недостаточно надежна, решение принимается по совокупности двух процессных индикаторов, указывающих на одну доминирующую фазу. При сочетании признаков соседних фаз приоритет получает та фаза, характеристики которой в большей степени соответствуют ее ключевому результату. Если однозначный вывод сделать нельзя, случай фиксируется как пограничный и требует дополнительной источниковой проверки.

Правила фазовой атрибуции обобщены в фазовой структуре ЖЦТ, где для каждой фазы определены фазовый порог и ключевой результат (табл. 1). Таблица служит нормативно-методическим каркасом для привязки индикаторов к фазам: календарное перекрытие допускается, но каждая фаза распознается через собственный порог и результат. Событийная трактовка порогов согласуется с проектной логикой управления решениями и контрольными точками [10], а их институциональная наблюдаемость рассматривается как условие практической обоснованности измерения [11].

Таблица 1

Фазовая структура ЖЦТ и логика измерения

Table 1. Phase structure and measurement logic of the pipeline project life-cycle model

Фаза ЖЦТ	Момент доминирования (фазовый порог)	Ключевой результат фазы
1. Предпроектный ресурсно-географический анализ	Первичное институционально-документальное оформление трубопроводной инициативы на основе ресурсно-географической оценки	Закрепление идеи трубопроводного коридора в стратегических и корпоративных документах
2. Маршрутизация и институциональное согласование	Выделение базового коридора и запуск формализованного межгосударственного согласования	Институционально зафиксированный приоритетный маршрут
3. Проектирование и финансово-организационная сборка	Достижение стадии окончательного инвестиционного решения	Согласованный проектно-финансовый пакет и организационная структура
4. Строительство и ввод в эксплуатацию	Начало необратимых физических инвестиций и развертывание строительной логистики	Физически завершенная инфраструктура, доведенная до порога первого потока
5. Эксплуатация, модернизация и институциональная адаптация	Переход к устойчивому режиму эксплуатации и управленческой оптимизации	Стабилизированная эксплуатационная модель в коммерческом и регуляторном режиме
6. Социально-пространственная адаптация и конфликтность	Превращение социальных реакций и конфликтов в системный фактор устойчивости проекта	Институционализированный механизм урегулирования жалоб и компенсаций либо устойчивая конфигурация конфликтности
7. Трансформация, консервация и демонтаж инфраструктуры	Документируемая утрата инфраструктурой стратегической функции в энергетической системе	Перепрофилирование, консервация или демонтаж инфраструктуры

Примечание. Фазовая атрибуция в данной работе опирается на принцип доминантной фазовой релевантности. Календарное и пространственное перекрытие фаз допускается, однако каждая фаза распознается через собственный фазовый порог и ключевой результат.

Под моментом доминирования понимается тот рубеж, после которого соответствующая конфигурация признаков становится аналитически ведущей. Поэтому фаза не назначается по одному признаку, а подтверждается согласованным чтением пороговых и процессных индикаторов и сопоставлением разнородных источников [12]. Такой подход снижает зависимость интерпретации от одного источника или признака и обеспечивает воспроизводимость и проверяемость процедуры [13].

Принципы отбора и группировки индикаторов

Отбор индикаторов направлен на воспроизводимое описание пространственной динамики и управляемости трубопроводного проекта в рамках фаз ЖЦТ. Приоритет отдан показателям, которые допускают пространственную и институциональную интерпретацию без сведения результатов к интегральным индексам и рейтингам [14–16]. Такой подход сохраняет чувствительность анализа к фазовой неоднородности и различиям в типе фиксации, наблюдаемости и надежности источников.

Каждый показатель закрепляется за одной доминирующей фазой по принципу доминантной фазовой релевантности и фиксирует либо фазовый порог, либо процесс формирования ключевого результата. Поэтому индикатор рассматривается не как универсальная характеристика проекта в целом, а как измеритель определенного фазового состояния.

Индикаторный набор организован по конфигурации «два процессных и один пороговый показатель» на каждую фазу. Такая структура задает минимально достаточную внутрифазовую логику проверки. Она позволяет одновременно фиксировать ход формирования режима и момент его порогового закрепления, не расширяя набор до избыточного числа показателей. Развернутое содержание этой конфигурации и ее операциональная спецификация представлены в разделе результатов.

При отборе дополнительно учитываются два требования: пространственная интерпретируемость для протяженных и неоднородных объектов и институциональная обоснованность, т.е. документируемая связь показателей с практиками регулирования, договорными режимами и организационными процедурами управления проектом [3, 4, 11]. Их совместное применение особенно важно для трансграничных трубопроводных систем, где пространственная конфигурация коридора и институциональная конфигурация управления часто развиваются несинхронно. Поэтому один и тот же сегмент может иметь разную степень пространственной устойчивости, нормативной определенности и акторной согласованности, что требует фазо-ориентированного, а не усредняющего подхода к измерению.

Самостоятельным критерием выступает минимальная достаточность набора показателей, предпочтение отдается тем индикаторам, которые отражают ключевые фазовые различия и могут быть проверены по публично доступным либо документируемым источникам. Отбор индикаторов основан на пяти критериях: прямое отношение к ключевому результату соответствующей фазы; возможность воспроизводимой фиксации по проверяемым данным и документам; ясная принадлежность к процессному либо пороговому типу; функциональная дополняемость внутри одной фазы; применимость как к полным, так и к сокращенным траекториям ЖЦТ.

Прозрачность операционализации обеспечивается тем, что для каждого индикатора заранее задаются его определение, шкала или единица измерения, допустимые типы источников, минимальные требования к доказательной базе и границы интерпретации. Источники различаются по функциональной роли: официальная статистика и материалы мониторинга, нормативно-регуляторные документы, корпоративная и проектная документация, научные и отраслевые базы, а при необходимости — допустимые косвенные источники. Такое разграничение повышает надежность фазовой интерпретации и делает процедуру проверки более понятной.

Выбор шкал измерения подчинен задаче сопоставимости при неоднородности источников. Для пороговых индикаторов приоритет имеют событийно-временные признаки в формате «наличие / дата». Для процессных показателей более уместны метрические и

относительные величины, отражающие динамику приближения к ключевому результату. Малые упорядоченные шкалы 0–2 используются только там, где качество реализации нельзя надежно выразить одной метрикой. В этом случае шкала выступает не техническим дополнением к индикатору, а частью его интерпретации.

Использование косвенных показателей допускается только при дефиците прямых данных. Их применение допустимо при двух условиях: связь с процессом или порогом фазы объяснена, а результат может быть проверен по независимому источнику или альтернативному индикатору той же фазы. Если эти условия не выполняются, такой показатель рассматривается как ограничение данных, а не как полноценное измерение. Для институционально-управленческого блока, наиболее чувствительного к составу источников, обязательны маркировка статуса измерителя и внутрифазовая триангуляция¹, поскольку существуют риски измерения, основанного на косвенных показателях [17–19].

Базовой единицей фазового кодирования выступает трубопроводный проект или коридор в целом. Сегменты трассы, узлы и пограничные пересечения рассматриваются как уровни пространственной детализации в тех случаях, когда это допускается составом и качеством источников. При кодировании необходимо различать отсутствие признака, отсутствие верифицируемых данных и неприменимость показателя к конкретному случаю; эти состояния не должны интерпретироваться как равнозначные.

Для отдельных пороговых показателей допускается контекстное задание порога и периода наблюдения. Универсальные значения таких параметров не устанавливаются; воспроизводимость обеспечивается фиксацией источника порогового значения, даты наблюдения и обоснования его применимости к рассматриваемому коридору.

Управление данными в данной статье понимается не как техническое приложение к методике, а как условие ее проверяемости. Если для индикатора неясны происхождение данных, способ их фиксации и последовательность обращения к источнику, такая интерпретация трудно воспроизводима даже при формально корректной конструкции показателя. Поэтому для набора важны не только сами измерители, но и прозрачность их документирования, хранения и повторной проверки. В этом смысле предлагаемый подход соотносится с принципами обнаружимости, доступности, совместимости и пригодности к повторному использованию исследовательских данных [20] и одновременно создает основу для последующей реализации в геоинформационной системе.

Результаты и их обсуждение

Основным результатом исследования является минимально достаточный фазовый набор из 21 индикатора, дополненный правилами интерпретации, источниковой проверки и операционального описания. Индикаторы рассматриваются как взаимосвязанные признаки фазового состояния, позволяющие различать процесс формирования ключевого результата и момент его порогового закрепления. Состав набора представлен в табл. 2.

Табл. 2 задает минимально достаточную конфигурацию показателей для фазового чтения ЖЦТ по связке «процесс — порог». Ее основная функция состоит не в исчерпывающем описании всех возможных параметров трубопроводного проекта, а в выделении тех признаков, которые позволяют распознавать фазовое состояние проекта без перехода к интегральному индексу или рейтинговой оценке.

Вместе с тем одного перечня показателей недостаточно для воспроизводимой интерпретации. Для эмпирической апробации необходимо определить способы фиксации показателей, источники их проверки и условия использования косвенных данных; соответствующая операциональная спецификация представлена в табл. 3.

¹ Под внутрифазовой триангуляцией понимается сопоставление порогового и процессных индикаторов одной фазы с использованием независимых типов источников.

Таблица 2

Минимально достаточный фазовый индикаторный набор: фиксация фазовых порогов
и процессов достижения ключевых результатов ЖЦП

Table 2. Minimally sufficient phase indicator set: recording phase thresholds and the processes leading
to key phase results in the pipeline project life-cycle model

№	Фаза ЖЦП	Индикатор	Тип фиксации	Измеряемый компонент	Ед. изм. / шкала
1	I	Ожидаемый экспортируемый поток	Процесс	Геоэкономическая реализуемость коридора	млрд м ³ /год; млн т/год
2	I	Концентрация поставок и маршрутов по индексу Херфиндаля—Хиршмана	Процесс	Уязвимость конфигурации поставок	индекс 0–1
3	I	Стратегическое или корпоративное закрепление коридора	Порог	Документальная фиксация трубопроводной инициативы	да/нет; дата
4	II	Число пересечений государственных границ	Процесс	Пространственно-институциональная сложность маршрута	ед.
5	II	Плотность гидропереходов и критических пересечений	Процесс	Инженерно-пространственная сложность маршрута	ед./100 км
6	II	Количество и качество межгосударственных соглашений	Порог	Институциональная фиксация маршрута	ед.; 0–2
7	III	Длительность разрешительных процедур	Процесс	Регуляторная готовность к окончательному инвестиционному решению	дни/мес.
8	III	Акторная диверсификация проекта	Процесс	Конфигурация участников проекта	индекс 0–1
9	III	Окончательное инвестиционное решение	Порог	Инвестиционно-решенческий порог	да/нет; дата
10	IV	Отклонение сроков	Процесс	Управляемость строительной логистики	дни/мес.
11	IV	Земельно-имущественные споры и процедуры отчуждения	Процесс	Социально-правовые барьеры строительства	ед.; ед./100 км
12	IV	Ввод в эксплуатацию, или первый поток	Порог	Операционный порог ввода	да/нет; дата
13	V	Коэффициент использования мощности	Процесс	Стабилизация режима потоков	%
14	V	Длительность простоев	Процесс	Эксплуатационная устойчивость	ч/год
15	V	Дата начала коммерческой эксплуатации	Порог	Порог устойчивой эксплуатации	да/нет; дата
16	VI	Интенсивность участия и консультаций	Процесс	Институционализация участия	ед.; 0–2
17	VI	Полнота компенсационного механизма	Процесс	Компенсационное обеспечение и снижение претензий	0–2 или %
18	VI	Доля урегулированных жалоб	Порог	Порог деэскалации и урегулирования	%; дата при наличии
19	VII	Риск «застрявших» активов	Процесс	Давление к трансформации или консервации	индекс 0–1
20	VII	Доля перепрофилирования	Процесс	Потенциал перепрофилирования коридора	%
21	VII	Выведенная из эксплуатации протяженность	Порог	Порог фактического вывода инфраструктуры	км; дата

Примечание. В табл. 2 каждый показатель закреплен за одной доминирующей фазой и интерпретируется либо как процесс формирования ключевого результата, либо как фазовый порог его фиксации. Набор организован по конфигурации «два процессных и один пороговый показатель» на каждую фазу. Такая структура обеспечивает внутрифазовую проверку без перехода к интегральным индексам и межфазовому ранжированию.

Операциональная спецификация задает минимальные условия воспроизводимого координирования и источниковой проверки показателей, но не заменяет контекстную интерпретацию конкретных трубопроводных проектов.

Таблица 3

Операциональная спецификация минимально достаточного фазового набора ЖЦТ

Table 3. Operational specification of the minimally sufficient phase indicator set of the pipeline project life-cycle model

№	Индикатор	Минимальная операционализация	Источниковая привязка
1	Ожидаемый экспортируемый поток	Годовой ожидаемый экспортируемый поток; при дефиците прямых данных — проектная мощность.	осн.: Ис2, Ис3; косв.: Ис1
2	Концентрация поставок и маршрутов по индексу Херфиндала—Хиршмана	Индекс рассчитывается как сумма квадратов долей направлений, рынков или маршрутов.	осн.: Ис7; косв.: Ис2
3	Стратегическое или корпоративное закрепление коридора	Наличие проекта или коридора в стратегиях, программах либо корпоративных документах; фиксируется дата первого приоритетного закрепления.	осн.: Ис3 и/или Ис2
4	Число пересечений государственных границ	Число международных границ по трассе; для морских сегментов учитываются исключительные экономические зоны.	осн.: Ис11, Ис1/ Ис6; доп.: Ис4
5	Плотность гидропереходов и критических пересечений	Число гидропереходов и критических пересечений на 100 км трассы.	осн.: Ис1, Ис6; косв.: Ис2
6	Количество и качество межгосударственных соглашений	Число межгосударственных соглашений по маршруту и их качество по шкале 0–2; операциональный референтный порог — 2.	осн.: Ис5
7	Длительность разрешительных процедур	Интервал от подачи документации до получения пакета разрешений, достаточного для окончательного инвестиционного решения.	осн.: Ис4; доп.: Ис2; косв.: Ис6
8	Акторная диверсификация проекта	Индекс разнообразия участников по категориям акторов при едином классификаторе участников.	осн.: Ис2; доп.: Ис1, Ис9, Ис4
9	Окончательное инвестиционное решение	Наличие и дата решения об утверждении финансирования и ключевых контрактов.	осн.: Ис2; подтв.: Ис9
10	Отклонение сроков	Разница между фактической и плановой датой достижения порога «первый поток».	план: Ис1/Ис2; факт: Ис2 или Ис4
11	Земельно-имущественные споры и процедуры отчуждения	Число споров, процедур отчуждения и компенсационных случаев; при необходимости — на 100 км трассы.	осн.: Ис8, Ис6; доп.: Ис2; трианг.: Ис13
12	Ввод в эксплуатацию, или первый поток	Наличие и дата первого физического прохождения продукта по системе.	осн.: Ис2; подтв.: Ис4
13	Коэффициент использования мощности	Отношение фактического потока к проектной мощности $\times 100\%$ при фиксированной базе знаменателя.	числ.: Ис7; знамен.: Ис1
14	Длительность простоев	Суммарная длительность простоев за год; правило учета плановых ремонтов фиксируется отдельно.	осн.: Ис2, Ис4
15	Дата начала коммерческой эксплуатации	Наличие и дата начала регулярного коммерческого режима системы.	осн.: Ис4 и/или Ис2
16	Интенсивность участия и консультаций	Число процедур участия и оценка их полноты по шкале 0–2.	осн.: Ис6, Ис2; подтв.: Ис13
17	Полнота компенсационного механизма	Полнота компенсационного механизма по шкале 0–2; учитывается документируемая динамика претензий и споров.	осн.: Ис6, Ис2, Ис4; доп.: Ис8, Ис9*
18	Доля урегулированных жалоб	Доля урегулированных жалоб рассчитывается как отношение числа урегулированных жалоб к числу поступивших жалоб $\times 100\%$; операциональный референтный порог — не менее 80 % в двух последовательных периодах.	осн.: Ис10; доп.: Ис9, Ис6
19	Риск «застывших» активов	Индекс 0–1 по документируемым факторам, подталкивающим к трансформации или консервации инфраструктуры.	осн.: Ис4, Ис9, Ис7, Ис3, Ис2; доп.: Ис1/ Ис11, Ис12

№	Индикатор	Минимальная операционализация	Источниковая привязка
20	Доля перепрофилирования	Доля мощности или протяженности, переведенной под иной продукт либо иной режим использования; база расчета фиксируется отдельно.	осн.: Ис1, Ис2, Ис4
21	Выведенная из эксплуатации протяженность	Протяженность выведенных из эксплуатации участков и дата решения; режим учета консервации фиксируется отдельно.	осн.: Ис2, Ис4, Ис1; доп.: Ис12

Примечание. Обозначения в столбце «Источниковая привязка»: осн. — основной источник; косв. — допустимый косвенный источник при отсутствии сопоставимых прямых данных; доп. — дополнительный источник для уточнения и проверки; подтв. — источник подтверждения ключевого факта или даты; трианг. — источник, используемый только в логике триангуляции; план — источник планового значения; факт — источник фактического значения; числ. — источник данных для числителя; знамен. — источник данных для знаменателя.

* Ис9 применяется к показателю № 17 только при участии международных финансовых институтов или кредиторов.

Коды типов источников: Ис1 — проектно-технические документы; Ис2 — корпоративные раскрытия и отчетность операторов / консорциумов; Ис3 — государственные стратегии, программы и планы; Ис4 — регуляторные решения, разрешения и официальные реестры; Ис5 — межгосударственные соглашения; Ис6 — материалы оценки воздействия на окружающую среду и оценки экологического и социального воздействия; Ис7 — статистика потоков, поставок и загрузки мощности; Ис8 — судебные материалы, жалобы и споры; Ис9 — документы финансирования, кредиторов и международных финансовых институтов; Ис10 — отчетность механизма рассмотрения жалоб; Ис11 — картографические и геопространственные данные; Ис12 — данные дистанционного зондирования Земли; Ис13 — материалы средств массовой информации и некоммерческих организаций, используемые только для триангуляции.

Табл. 3 фиксирует минимальные условия воспроизводимого кодирования показателей и их проверяемую источниковую привязку.

В составе минимально достаточного фазового набора сочетаются расчетные показатели, документируемые событийно-временные и метрические переменные, малые упорядоченные шкалы, а также пороги, задаваемые с учетом контекста конкретного проекта. Показатели концентрации по индексу Херфиндала—Хиршмана, акторной диверсификации по индексу Шеннона, коэффициента использования мощности и доли урегулированных жалоб рассчитываются по стандартным формулам или фиксированным правилам расчета. Для показателей № 6, 16 и 17 используется шкала 0–2, различающая формальное наличие механизма, его частичную действенность и полную институциональную выраженность в логике квалиметрического описания качества реализации [21]. Для показателей, зависящих от фиксированной базы или отдельного режима учета, принципиальное значение имеют стабильность знаменателя, правило учета простое, а также согласованность базы расчета мощности, протяженности или периода наблюдения. Показатель № 19 в этой логике трактуется как индикатор документируемого структурного давления к трансформации или консервации, а не как самостоятельный прогноз рыночной динамики.

Особого внимания требует использование косвенных источников, а также материалов средств массовой информации и некоммерческих организаций. Такие данные не должны подменять проектную, договорную, регуляторную или корпоративную документацию. Их роль ограничивается уточнением и проверкой спорных случаев, прежде всего в ситуациях, когда прямые источники отсутствуют, неполны или противоречат друг другу. Поэтому материалы типа Ис13 используются только в логике триангуляции и не рассматриваются как самостоятельная основа фазовой атрибуции.

Схематический пример фазового чтения

Для демонстрации внутрифазового чтения рассматривается условный пример фазы II — маршрутизации и институционального согласования. Его задача состоит не в

эмпирической оценке конкретного проекта, а в показе того, как сочетание двух процессных и одного порогового индикатора используется для атрибуции доминирующей фазы. Аналогичная последовательность применяется к остальным фазам на основе показателей и источников, представленных в табл. 2 и 3.

Фаза II (маршрутизация и институциональное согласование)

Для наглядности можно представить трансграничный трубопроводный коридор, выбор которого требует согласования сразу в нескольких юрисдикциях. В такой конфигурации ключевой результат фазы II связан с институциональной фиксацией маршрута, т.е. с моментом, когда договорная база уже позволяет перейти от предварительного выбора трассы к проектированию.

Процессная часть фазы фиксируется индикаторами пространственной сложности. Число пересечений государственных границ (№ 4) отражает институциональную многослойность маршрута; при морских сегментах применяется правило учета исключительных экономических зон. Плотность гидропереходов и критических пересечений (№ 5) рассчитывается как число таких пересечений на 100 км трассы и интерпретируется как характеристика инженерно-пространственных условий, от которых во многом зависит переговорная и регуляторная нагрузка.

Порог фазы определяется индикатором «Количество и качество межгосударственных соглашений» (№ 6): учитываются число соглашений по маршруту и их качество по шкале 0–2; пороговым ориентиром служит значение 2. Доминирование фазы II фиксируется по дате, когда ключевое соглашение достигает этого уровня и тем самым обеспечивает практическое закрепление трассы.

Даже после достижения такого порога процессная нагрузка может сохраняться: отдельные пересечения, транзитные режимы или технически сложные участки нередко требуют повторных согласований. Поэтому в реальной пространственной конфигурации фаза II способна частично накладываться на фазу III. Фаза II сохраняет доминирование, пока согласовательная нагрузка остается аналитически ведущей, а пороговый индикатор подтверждает закрепление маршрута.

Порядок чтения соответствует табл. 2 (№ 4–6: процесс → порог) и табл. 3. Порог № 6 верифицируется по межгосударственным соглашениям (Ис5), тогда как показатели № 4–5 кодируются по картографическим данным (Ис11), проектно-техническим документам (Ис1) и материалам ОВОС или оценки экологического и социального воздействия (Ис6) с дополнительной проверкой при необходимости.

Методологические результаты и ограничения

Предложенная в статье рамка важна прежде всего тем, что позволяет интерпретировать фазы ЖЦТ без сведения разнородных характеристик к единому интегральному значению. Фазы рассматриваются как пространственно-институциональные режимы функционирования инфраструктуры, что соотносится с представлениями современной российской общественной географии о территориальных системах и пространственных структурах регионального развития как о динамичных конфигурациях взаимосвязанных элементов и режимов функционирования [9]. С методической точки зрения такой подход требует явных правил фазовой атрибуции и внутрифазовой проверки показателей. В прикладном отношении он открывает возможность дальнейшей операционализации на материале конкретных проектов и коридоров с учетом их сегментной неоднородности и различий в пространственной локализации признаков.

Основной методологический результат статьи состоит в том, что предложенный набор индикаторов и правила его чтения образуют единую воспроизводимую схему, пригодную для последующей эмпирической апробации. Поэтому данную схему уместнее рассматри-

вать не как завершенную прикладную модель оценки, а как методическую основу для дальнейших исследований.

Ограничения предложенной схемы связаны прежде всего с неравномерной доступностью и качеством данных по странам, сегментам и фазам проекта, а также с институциональной и пространственной неоднородностью трансграничных коридоров. В этих условиях особенно важно ясно обозначать статус источников и измерителей и сохранять осторожность в фазовой интерпретации, чтобы косвенные показатели не подменяли проектную, договорную и регуляторную документацию там, где доступны первичные материалы.

По этой причине в статье не рассматриваются межпроектные сравнения, численные профили фаз и прикладные процедуры в геоинформационной системе. Эти задачи отнесены к следующему этапу исследования и предполагают апробацию набора на материалах конкретных трансграничных коридоров Черноморско-Каспийского макрорегиона.

Заключение и выводы

Проведенное исследование показало, что фазы жизненного цикла трубопроводного проекта продуктивнее рассматривать не как календарно заданные отрезки проектного цикла, а как меняющиеся пространственно-институциональные режимы инфраструктурного коридора. Для протяженных трубопроводных систем такой подход особенно важен, поскольку разные сегменты маршрута, узлы, пограничные пересечения и контуры управления могут развиваться несинхронно. В результате фазовая интерпретация выходит за пределы описательной схемы и приобретает значение методического инструмента анализа пространственно неоднородных инфраструктурных проектов.

Минимально достаточный фазовый индикаторный набор сформирован таким образом, чтобы, с одной стороны, не перегружать анализ избыточным числом измерителей, а с другой — сохранять различие между процессом формирования фазового состояния и его пороговым закреплением. Поэтому предложенная схема не ориентирована на построение интегрального индекса, межфазовое ранжирование или универсальную оценку эффективности проекта. Ее назначение состоит в согласованном внутрифазовом чтении показателей и подготовке основы для последующей эмпирической проверки на материалах конкретных трубопроводных коридоров.

Для предложенного набора разработана операциональная спецификация, включающая минимальные определения индикаторов, логику их источниковой привязки и условия воспроизводимого кодирования. Это позволяет перейти от общего перечня измерителей к более строгой процедуре интерпретации, в которой сохраняется связь между фазовой логикой модели, наблюдаемыми признаками и возможностью их сопоставимой фиксации. Особое значение имеет различие процессных и пороговых показателей: первые показывают формирование фазового режима, вторые фиксируют момент его аналитического закрепления.

Ограничения исследования связаны с его методологическим характером. В статье не выполнялась прикладная оценка конкретных проектов, не строились численные профили фаз и не проводилось межпроектное сравнение. Эти задачи предполагают следующий этап исследования — эмпирическую апробацию минимально достаточного фазового индикаторного набора на материалах конкретных трансграничных трубопроводных коридоров, прежде всего в Черноморско-Каспийском макрорегионе.

Благодарности. Исследование выполнено при поддержке Министерства национального образования Турецкой Республики в рамках стипендиальной программы YLSY (Закон № 1416). Автор выражает благодарность научному руководителю, доктору географических наук, профессору Ю.Н. Гладкому за научные консультации и ценные замечания. Статья подготовлена в рамках диссертационного исследования автора.

Acknowledgments. This research was supported by the Ministry of National Education of the Republic of Türkiye within the framework of the YLSY scholarship program (Law No. 1416). The author expresses sincere gratitude to his academic supervisor, Doctor of Geographical Sciences, Professor Yu.N. Gladkiy, for scientific guidance and valuable comments. This article was prepared as part of the author's doctoral research.

Литература

1. Coe N.M. Logistical geographies // *Geography Compass*. 2020. Vol. 14. e12506. <https://doi.org/10.1111/gec3.12506>.
2. Flyvbjerg B. What You Should Know About Megaprojects, and Why: An Overview // *Project Management Journal*. 2014. Vol. 45, N 2. P. 6–19. <https://doi.org/10.1002/pmj.21409>.
3. Omonbude E. J. The transit oil and gas pipeline and the role of bargaining: A non-technical discussion // *Energy Policy*. 2007. Vol. 35, N 12. P. 6188–6194. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.06.001>.
4. Öge K. Understanding Pipeline Politics in Eurasia: Turkey's Transit Security in Natural Gas // *Geopolitics*. 2021. Vol. 26, N 5. P. 1510–1532. <https://doi.org/10.1080/14650045.2019.1687447>.
5. Мафратоглу М. Пространственная логистика трубопроводного транспорта: многофазовая модель жизненного цикла проекта // *Тихоокеанская география*. 2026. № 2. С. 45–57. https://doi.org/10.35735/26870509_2026_26_4.
6. Маркелов К.А., Усманов Р.Х., Головин В.Г. Черноморско-Каспийский регион: от геополитики к геоэкономике транспортных систем // *Каспийский регион: политика, экономика, культура*. 2019. № 1 (58). С. 74–88.
7. Анимича Е.Г. Пространственная организация общества: постановка проблемы и концептуальные установки // *Известия УрГЭУ*. 2007. № 2 (19). С. 82–85.
8. Гладкий Ю.Н. Гуманитарная география: понятийный статус и институционализация // *Гуманитарный вектор*. 2014. № 2 (38). С. 158–164.
9. Бакланов П.Я. Пространственные структуры и территориальные системы в региональном развитии: избранное. Владивосток: Тихоокеанский институт географии ДВО РАН. 2024. 464 с. <https://doi.org/10.35735/9785604968352>.
10. Мазур И.И., Шапиро В.Д., Ольдерогге Н.Г. Управление проектами: учебное пособие / под общ. ред. И.И. Мазура. 2-е изд. М.: Омега-Л, 2004. 664 с.
11. Гладкий Ю.Н. Географическая праксиология и модернизация страны // *Общество. Среда. Развитие*. 2023. № 4 (69). С. 53–61. https://doi.org/10.53115/19975996_2023_04_053_061.
12. Jick T.D. Mixing Qualitative and Quantitative Methods: Triangulation in Action // *Administrative Science Quarterly*. 1979. Vol. 24, No. 4. P. 602–611. <https://doi.org/10.2307/2392366>.
13. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Reproducibility and Replicability in Science. Washington, DC: National Academies Press, 2019. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://doi.org/10.17226/25303>. (дата обращения: 28.05.2026).
14. Nardo M., Saisana M., Saltelli A., Tarantola S., Hoffman A., Giovannini E. Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide. OECD Statistics Working Papers. No. 2005/3. Paris: OECD Publishing, 2005. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://doi.org/10.1787/533411815016>. (дата обращения: 28.05.2026).
15. Saltelli A. Composite indicators between analysis and advocacy // *Social Indicators Research*. 2007. Vol. 81. P. 65–77. <https://doi.org/10.1007/s11205-006-0024-9>.
16. Paruolo P., Saisana M., Saltelli A. Ratings and rankings: Voodoo or science? // *Journal of the Royal Statistical Society: Series A*. 2013. Vol. 176, N 3. P. 609–634. <https://doi.org/10.1111/j.1467-985X.2012.01059.x>.
17. Kaufmann D., Kraay A., Mastruzzi M. The Worldwide Governance Indicators: Methodology and Analytical Issues. Policy Research Working Paper No. 5430. Washington, DC: The World Bank, 2010. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://doi.org/10.1596/1813-9450-5430>. (дата обращения: 28.05.2026).
18. Braganza O. Proxyeconomics: A theory and model of proxy-based competition and cultural evolution // *Royal Society Open Science*. 2022. Vol. 9, N 2. 211030. <https://doi.org/10.1098/rsos.211030>.
19. Campbell D.T. Assessing the Impact of Planned Social Change // *Evaluation and Program Planning*. 1979. Vol. 2, No. 1. P. 67–90. [https://doi.org/10.1016/0149-7189\(79\)90048-X](https://doi.org/10.1016/0149-7189(79)90048-X).
20. Wilkinson M.D., Dumontier M., Aalbersberg I. J., Appleton G., Axton M., Baak A., Blomberg N. et al. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific Data*. 2016. Vol. 3. 160018. <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>.
21. Азгальдов Г.Г., Костин А.В., Садовов В.В. Квалиметрия для всех: учебное пособие. М.: ИД Информ Знание, 2012. 165 с.

References

1. Coe, N.M. Logistical geographies. *Geography Compass*. 2020;(14):e12506. <https://doi.org/10.1111/gec3.12506>.
2. Flyvbjerg, B. What You Should Know About Megaprojects, and Why: An Overview. *Project Management Journal*. 2014;45(2):6–19. <https://doi.org/10.1002/pmj.21409>.
3. Omonbude, E.J. The transit oil and gas pipeline and the role of bargaining: A non-technical discussion. *Energy Policy*. 2007;35(12):6188–6194. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.06.001>.
4. Öge, K. Understanding Pipeline Politics in Eurasia: Turkey's Transit Security in Natural Gas. *Geopolitics*. 2021; 26(5):1510–1532. <https://doi.org/10.1080/14650045.2019.1687447>.
5. Mafratoglu, M. Spatial logistics of pipeline transport: a multi-phase model of the project life cycle. *Pacific Geography*. 2026;(2):45–57. (In Russian). https://doi.org/10.35735/26870509_2026_26_4.
6. Markelov, K.A.; Usmanov, R.Kh.; Golovin, V.G. The Black Sea-Caspian region: from geopolitics to the geoeconomics of transport systems. *Caspian Region: Politics, Economics, Culture*. 2019;1(58):74–88. (In Russian).
7. Animitsa, E.G. Spatial organization of society: problem statement and conceptual guidelines. *Bulletin of the Ural State University of Economics*. 2007;2(19):82–85. (In Russian).
8. Gladkiy, Yu.N. Humanitarian geography: conceptual status and institutionalization. *Humanitarian Vector*, 2014; 2(38):158–164. (In Russian.)
9. Baklanov, P.Ya. Spatial structures and territorial systems in regional development: selected works. Vladivostok, Pacific Geographical Institute FEB RAS, 2024; 464 p. (In Russian). <https://doi.org/10.35735/9785604968352>.
10. Mazur, I.I.; Shapiro, V.D.; Olderogge, N.G. Project Management: textbook. 2nd ed. Omega-L: Moscow, Russia. 2004; 664 p. (In Russian).
11. Gladkiy, Yu.N. Geographical praxeology and the modernization of the country. *Society. Environment. Development*. 2023;4(69):53–61. (In Russian). https://doi.org/10.53115/19975996_2023_04_053_061.
12. Jick, T.D. Mixing Qualitative and Quantitative Methods: Triangulation in Action. *Administrative Science Quarterly*. 1979, 24(4): 602–611. <https://doi.org/10.2307/2392366>.
13. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Reproducibility and Replicability in Science. Washington, DC: National Academies Press, 2019. Available online: <https://doi.org/10.17226/25303>. [Accessed: 28.05.2026].
14. Nardo, M.; Saisana, M.; Saltelli, A.; Tarantola, S.; Hoffman, A.; Giovannini, E. Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide. OECD Statistics Working Papers, no. 2005/3. Paris: OECD Publishing, 2005. Available online: <https://doi.org/10.1787/533411815016>. [Accessed: 28.05.2026].
15. Saltelli, A. Composite indicators between analysis and advocacy. *Social Indicators Research*, 2007;(81):65–77. <https://doi.org/10.1007/s11205-006-0024-9>.
16. Paruolo, P., Saisana, M., Saltelli, A. Ratings and rankings: Voodoo or science? *Journal of the Royal Statistical Society: Series A*, 2013;176(3):609–634. <https://doi.org/10.1111/j.1467-985X.2012.01059.x>.
17. Kaufmann, D., Kraay, A., Mastruzzi, M. The Worldwide Governance Indicators: Methodology and Analytical Issues. Policy Research Working Paper No. 5430. Washington, DC: The World Bank, 2010. Available online: <https://doi.org/10.1596/1813-9450-5430>. [Accessed: 28.05.2026].
18. Braganza, O. Proxyeconomics: A theory and model of proxy-based competition and cultural evolution. *Royal Society Open Science*, 2022;9(2):211030. <https://doi.org/10.1098/rsos.211030>.
19. Campbell, D.T. Assessing the Impact of Planned Social Change. *Evaluation and Program Planning*, 1979;2(1):67–90. [https://doi.org/10.1016/0149-7189\(79\)90048-X](https://doi.org/10.1016/0149-7189(79)90048-X).
20. Wilkinson, M.D.; Dumontier, M.; Aalbersberg, I. J.; Appleton, G.; Axton, M.; Baak, A.; Blomberg, N.; et al. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific Data*. 2016;(3):160018. <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>.
21. Azgaldov, G.G.; Kostin, A.V.; Sadovov, V.V. Qualimetry for Everyone: textbook. Moscow, InformZnanie Publishing House, 2012; 165 p. (In Russian).

Статья поступила в редакцию 09.04.2026; одобрена после рецензирования 05.06.2026; принята к публикации 10.06.2026.

The article was submitted 09.04.2026; approved after reviewing 05.06.2026; accepted for publication 10.06.2026.



Распределение растворенного органического углерода и биогенных элементов в поверхностных водах бассейна озера Ханка

Татьяна Николаевна ЛУЦЕНКО
кандидат географических наук, старший научный сотрудник
luts@tigdvo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5433-8248>

Владимир Маркович ШУЛЬКИН
доктор географических наук, главный научный сотрудник
shulkin@tigdvo.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4610-2582>

Анна Геннадьевна БОЛДЕСКУЛ
кандидат географических наук, старший научный сотрудник
boldeskul@tigdvo.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9014-2405>

Владимир Владимирович ШАМОВ
доктор географических наук, главный научный сотрудник
vlshamov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9310-1836>

Светлана Григорьевна ЮРЧЕНКО
кандидат географических наук, старший научный сотрудник
yurchenko@tigdvo.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2008-1103>

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия

Аннотация. Оценка изменения качества воды крупнейшего трансграничного российско-китайского оз. Ханка возможна только при учете сезонности биогеохимических процессов. Рассмотрено сезонное изменение концентраций растворенного органического углерода (POY) и биогенных элементов (Si, P, N-NO₃) на фоне изменчивости общих гидрохимических параметров в основных реках бассейна оз. Ханка и в самом озере в 2025 г. Минерализация и содержание макроионов в реках изменяются в соответствии с вариациями водного режима: минимальны в половодье и возрастают в межень. Макросостав озерных вод практически постоянен и в основном соответствует средневзвешенному составу рек. Сезонность концентраций биогенных элементов в реках контролируется в большей степени интенсивностью их мобилизации на водосборах при дополнительной роли динамики водного стока. Судя по спектральным характеристикам воды, POY в реках (SUVA₂₅₄ 2.0–4.1 л/мг*м) содержит значительную долю ароматических гуминовых веществ, тогда как POY озера (SUVA₂₅₄ 1.8–2.2 л/мг*м) состоит преимущественно из автохтонных углеводов. Концентрации биогенных элементов в озере и характер их сезонной изменчивости отличаются от речных, что свидетельствует о доминировании внутриводоемных процессов. Для растворенного Si – это поглощение фитопланктоном, особенно выраженное зимой и весной во время преобладания диатомовых. Для фосфора – мобилизация из взвеси и донных отложений летом и осенью, что обеспечивает повы-

шенную концентрацию растворенных форм фосфора на большей части акватории озера до уровня, превышающего речной. Особый характер протекания биогеохимических процессов обнаружен в юго-восточном побережье оз. Ханка, находящемся под прямым влиянием речного и болотного стока. Здесь концентрация биогенных элементов значительно понижена на протяжении всего года по сравнению с основной водной массой, вероятно за счет интенсивной ассимиляции фитопланктоном.

Ключевые слова: оз. Ханка, реки, РОУ, биогенные элементы, $SUVA_{254}$

Для цитирования: Луценко Т.Н., Шулькин В.М., Болдескул А.Г., Шамов В.В., Юрченко С.Г. Распределение растворенного органического углерода и биогенных элементов в поверхностных водах бассейна озера Ханка // Тихоокеанская география. 2026. № 3. С. 64–79. https://doi.org/10.35735/26870509_2026_27_6

Original article

Distribution of dissolved organic carbon and nutrients in the surface waters of the Khanka Lake basin

Tatiana N. LUTSENKO

Candidate of Geographical Sciences, Senior research associate

luts@tigdvo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5433-8248>

Vladimir M. SHULKIN

Doctor of Geographical Sciences, Chief research associate

shulkin@tigdvo.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4610-2582>

Anna G. BOLDESKUL

Candidate of Geographical Sciences, Senior research associate

boldeskul@tigdvo.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9014-2405>

Vladimir V. SHAMOV

Doctor of Geographical Sciences, Chief research associate

vlshamov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9310-1836>

Svetlana G. YURCHENKO

Candidate of Geographical Sciences, Senior research associate

yurchenko@tigdvo.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2008-1103>

Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

Abstract. To assess changes in the water quality of Lake Khanka, the largest transboundary Russian-Chinese lake, it is necessary to consider the seasonality of biogeochemical processes. This paper examines seasonal changes in the concentrations of dissolved organic carbon (DOC) and nutrients (Si, P, N-NO₃) taking into account variability in general hydrochemical parameters in the main rivers of the Lake Khanka basin and in the lake itself. Mineralization and major ions concentrations in the rivers vary in accordance with seasonal variations in the water regime; they are minimal during high water and increase during low water. The major ions content in the lake waters is almost constant and corresponds to the average-weighted composition of the rivers. An exception is coastal waters, which are directly influenced by river runoff. The seasonality of nutrient concentrations in rivers is largely controlled by the intensity of their mobilization in the catchments with the additional role of variations in water runoff. Based on the river spectral indices ($SUVA_{254}$ 2.0–4.1 l/mg*m), river water DOC contains a significant proportion of

aromatic humic substances, while lake water DOC (SUVA_{254} 1.8–2.2 l/mg*m) consists predominantly of autochthonous carbohydrates. The concentration and seasonal variability of nutrients in the lake compared to rivers indicate the decisive role of the intra-lake processes. For dissolved Si, this is uptake by phytoplankton, especially pronounced in winter and spring when diatom species predominate. For phosphorus, this is mobilization from suspended matter and bottom sediments in summer and autumn, resulting in elevated concentrations of dissolved phosphorus over most of the lake, exceeding river levels. A special pattern of biogeochemical processes has been observed in the south-eastern coastal waters of Lake Khanka, directly influenced by river runoff, where nutrient concentrations are significantly lower than in the main body of water around the year, likely due to increased assimilation by phytoplankton.

Keywords: Khanka Lake, rivers, DOC, biogenic elements, SUVA_{254}

For citation: Lutsenko T.N., Shulkin V.M., Boldeskul A.G., Shamov V.V., Yurchenko S.G. Distribution of dissolved organic carbon and biogenic elements in the surface waters of the Khanka Lake basin. *Pacific Geography*. 2026;(3):64–79. (In Russ.). https://doi.org/10.35735/26870509_2026_27_6

Введение

Озеро Ханка – крупнейший трансграничный водоем юга Дальнего Востока России, отличается значительными рыбными ресурсами, богатством и разнообразием растительного и животного мира. Озеро обладает высоким рекреационным потенциалом. Российско-китайская граница делит озеро на две части, около $\frac{3}{4}$ акватории принадлежит России. Китайская часть бассейна озера расположена в провинции Хэйлунцзян. Это территория с гораздо более значительной, чем на российской стороне, плотностью и численностью населения и высокой интенсивностью сельского хозяйства [1]. Основные реки, питающие оз. Ханка, – Комиссаровка, Мельгуновка, Илистая, Спасовка. Своеобразие озера в том, что при огромной площади акватории (4070 км²) его средняя глубина – 4.5 м, поэтому водная масса хорошо перемешивается и прогревается. Другая отличительная черта заключается в высоком содержании взвеси за счет взмучивания верхнего слоя донных отложений при ветровом перемешивании. Гидробиологические исследования показали, что значения биопродуктивности в оз. Ханка значительно выше, чем во многих водоемах и водотоках [2, 3].

В 70-е гг. прошлого века началось активное освоение водных ресурсов оз. Ханка для выращивания приморского риса, а 80-е гг. стали временем расцвета культуры риса на российской стороне бассейна оз. Ханка. По данным статистики в это время в озеро сбрасывалось почти 90 тыс. т стоков, подавляющую часть которых составляли сбросные воды рисовых оросительных систем [4]. Эти воды несли с собой тонны минеральных удобрений и ядохимикатов. В таком режиме развивалось рисоводство, являясь главным источником загрязнения озера и вытекающей из него р. Сунгача, создавая угрозу биоте и проживающему в бассейне оз. Ханка населению.

Различные аспекты природных процессов и характеристик воды оз. Ханка довольно интенсивно изучались ранее [4–9]. В последние 10 лет на передний план вышли проблемы квазициклического изменения уровня воды озера. Большая площадь озера в сочетании с малой глубиной приводят к тому, что даже относительно небольшие изменения водного баланса приводят к заметной трансформации береговой линии. В частности, в период 2004–2016 гг. наблюдался тренд увеличения уровня озера на 1–1.5 м с соответствующей трансформацией береговой зоны [1].

Продолжают оставаться в центре внимания проблемы качества и эвтрофикации вод озера. В последние десятилетия характер природопользования в бассейне оз. Ханка изменился. Это оказало положительное влияние на экосистемы речных водосборов и качество озерных вод. В частности, по сравнению с 80–90 гг. прошлого века концентрации общего растворенного фосфора снизились в озерных водах практически в 2 раза, произошло изменение соотношения форм аммонийного и нитратного азота в сторону преобладания

нитратной формы [4, 10]. В китайском секторе водосборной территории озера Ханка также наметились положительные тенденции: фиксируются тренды снижения уровня эвтрофикации [11, 12].

По данным, полученным с использованием дистанционного зондирования Земли и геоинформационных технологий, была создана карта землепользования в трансграничном бассейне оз. Ханка [13]. Основная часть (более 90 %) рисовых полей на территории РФ расположена в Хорольском, Спасском, Ханкайском и Черниговском муниципальных районах. При этом площадь рисовых полей на российской части бассейна почти в 3 раза меньше, чем на китайской.

Очевидно, что в отличие от изменения уровня воды, которое контролируется процессами с характерным временем более года [14], характеристика качества вод требует информации как минимум о сезонной изменчивости химического состава. Отсутствие опубликованных данных такого рода являлось основной причиной инициации представляемого исследования. Поскольку эвтрофикация – это одна из основных экологических проблем оз. Ханка, данные о концентрации в водах биогенных веществ (растворенного органического углерода (РОУ), соединений фосфора, азота, кремния) наряду с общими гидрохимическими показателями находились в центре внимания работы.

Растворенный органический углерод является неотъемлемым компонентом природных вод и участником глобального цикла углерода. РОУ представляет собой комплекс органических соединений аллохтонного и автохтонного происхождения, среди них – специфические гуминовые вещества и неспецифические соединения – аминокислоты, белки, моно- и полисахариды, органические кислоты, фенолы и др. РОУ играет важную роль в химии и экологии поверхностных вод, оказывая влияние на их кислотно-основные свойства, перенос и трансформацию биогенных элементов и микроэлементов, а также на световой режим и метаболизм водных организмов. Как и твердое органическое вещество почв, РОУ из-за своей сложности остается недостаточно изученным таксоном, но интерес к его исследованию растет благодаря тому, что, являясь одним из наиболее динамичных компонентов экосистем, он служит чувствительным индикатором изменений в экологических процессах [15].

Углерод, склонный к полимеризации, в биомолекулах связан с водородом, кислородом, азотом, фосфором, серой и микроэлементами. Физиологическая роль углерода в организмах определяется тем, что он входит в состав всех органических соединений и принимает участие во многих биохимических реакциях.

По сравнению с органическим углеродом, азот характеризуется более коротким биогеохимическим циклом и отличается несколькими степенями окисления (от -3 до +5). Азот принимает участие в построении молекулы хлорофилла. Фосфор вместе с азотом и углеродом входят в состав белков, нуклеиновых кислот, нуклеотидов, фосфолипидов и образуют структуру АТФ и АДФ, ДНК и РНК. Растворимые соли фосфорной кислоты формируют фосфатную буферную систему, ответственную за постоянство кислотно-щелочного равновесия внутриклеточной жидкости. Кремний жизненно необходим некоторым распространенным видам фитопланктона (диатомовым).

Цель настоящего исследования – изучить сезонную и пространственную изменчивость концентраций РОУ (включая качественный состав по спектральным индексам), а также концентрации биогенных элементов (Si, P, N) в озерных и речных водах бассейна оз. Ханка и выявить факторы, определяющие сезонную вариабельность этих параметров.

Материалы и методы

Пробы воды отбирали из поверхностного (0.3 м) слоя воды с января по ноябрь 2025 г. в нижнем течении рек Спасовка, Илистая, Мельгуновка, Комиссаровка, а также на трех точках в прибрежной зоне юго-восточной, западной и северо-западной частях оз.

Ханка (рис. 1). Кроме того, в июле было отобрано 7 проб в центральной части озера. В январе и феврале озеро полностью было покрыто плотным, преимущественно ровным льдом, толщина которого в западной и северо-западной частях озера составляла 90–92 см, в восточной – 110 см. Снежный покров на поверхности льда в эти месяцы не был сплошным в силу сильного ветрового переноса, высота его находилась в пределах 15–20 см. На реках ледовая обстановка в начале года сильно отличалась. В устьевой зоне р. Спасовка толщина льда достигала 90–95 см, в реках Илистая и Мельгуновка – 80 см, а в низовьях р. Комиссаровка на перекатах из-за больших скоростей течения наблюдались многочисленные полыньи. В марте отбор проб не проводился в связи с ледоходом и таянием озерного льда.

При отборе проб с помощью зонда Aquaread 5000 определяли in-situ температуру, pH и электропроводность (ЕС) как меру общей минерализации. В лаборатории в нефитрированных пробах оценивали общую щелочность методом потенциометрического титрования по стандартной методике. Пробы фильтровали под вакуумом через мембранные фильтры Millipore PVDF с диаметром пор 0.45 мкм. Полученные фильтраты использовали для дальнейшего анализа.

Концентрацию макрокатионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+), а также общий растворенный кремний и общий растворенный фосфор анализировали методом ИСП-ОЭС на приборе Plasma 3000 NCS в подкисленной аликвоте. Содержание хлоридов, сульфатов и нитратов

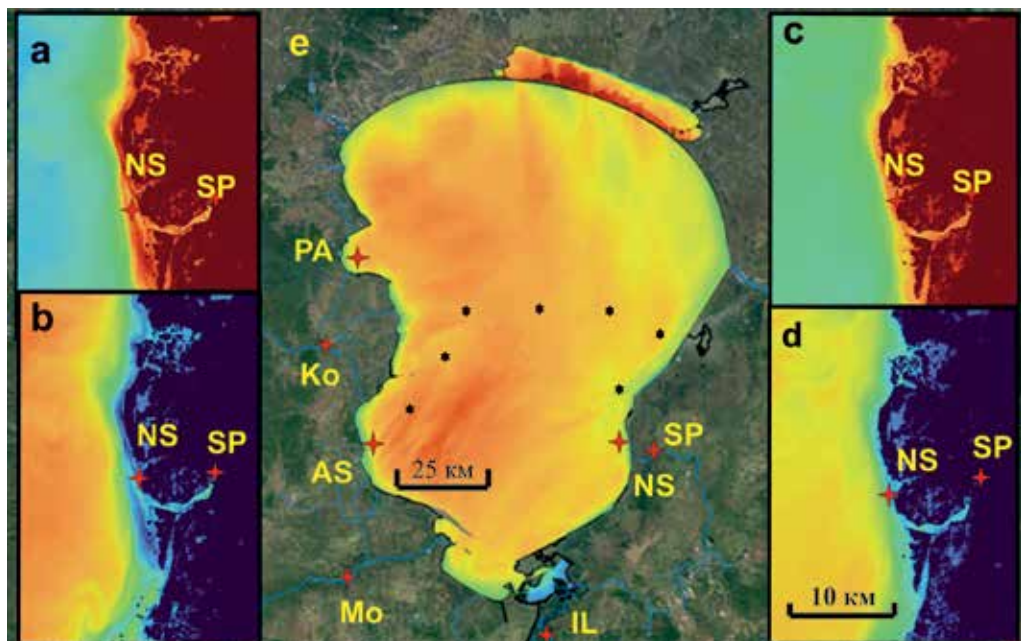


Рис. 1. Схема расположения станций сезонного мониторинга химического состава вод бассейна оз. Ханка в 2025 г. на фоне распределения индекса NDWI, рассчитанного по композиту снимка Landsat 8 от 30.05.2025; SP – р. Спасовка, IL – р. Илистая, Mo – р. Мельгуновка, Ko – р. Комиссаровка, NS – юго-восточное побережье оз. Ханка, AS – западное побережье (п. Астраханка), PA – северо-западное побережье (п. Платоново-Александровское), черные точки – места отбора вод озера 29.07.2025; (а) – распределение хлорофилла «а» и (б) – взвешенного вещества в юго-восточном побережье оз. Ханка со снимка Landsat 8 от 30.05.2025; (с) и (д) – то же самое, но со снимка Landsat 9 от 27.09.2025 г.

Fig. 1. Stations layout for seasonal water chemistry monitoring in the Lake Khanka basin (2025), overlaid with NDWI distribution from a Landsat 8 composite (30.05.2025). SP: Spasovka River; IL: Ilistaya River; Mo: Mel'gunovka River; Ko: Komissarovka River; NS: southeastern lakeshore; AS: western lakeshore (Astrakhanka); PA: northwestern lakeshore (Platonovo-Aleksandrovskoe). Black symbols: lake water sampling sites (29.07.2025). (a) – Chlorophyll “a” and (b) – suspended matter distribution in the southeastern lakeshore (Landsat 8, 30.05.2025); (c) and (d) the same parameters from (Landsat 9, 27.09.2025)

определяли методом ионной хроматографии с использованием прибора Shimadzu LC-10. Концентрацию фосфатов (P-PO₄) определяли спектрофотометрическим методом с молибдатом аммония.

Растворенный органический углерод анализировали методом каталитического сжигания с ИК-регистрацией на анализаторе TOC-Vcpn (Shimadzu) в режиме невыдуваемого органического углерода (NPOC). Для характеристики химической природы РОУ записывали спектры поглощения фильтратов в кварцевой кювете 1 см в интервале 200–800 нм на двухлучевом спектрофотометре UV-2450 (Shimadzu). Рассчитывали спектральные индексы SUVA₂₅₄ (specific ultraviolet absorbance) [16] и E₂₅₀/E₃₆₅ (E₂/E₃) [17].

Химико-аналитические исследования проведены в ЦКП ТИГ ДВО РАН.

Результаты и обсуждение

Общие гидрохимические показатели изучаемых вод приведены в табл. 1. Все воды бассейна оз. Ханка являются нейтральными или слабощелочными, гидрокарбонатно-магниево-кальциевыми, ультрапресными с минерализацией в диапазоне 50–200 мг/л. Исключение составляет р. Илистая, в которой наблюдалось изменение типа вод с гидрокарбонатного на сульфатно-гидрокарбонатный. По возрастанию минерализации реки образуют устойчивый ряд: р. Комиссаровка – р. Мельгуновка – р. Илистая – р. Спасовка в соответствии с увеличением антропогенной нагрузки, возрастанием роли сельскохозяйственных и уменьшением роли лесных ландшафтов [18]. Сезонная изменчивость минерализации во всех реках однотипна и соответствует наблюдаемой в других реках региона: максимум зимой за счет увеличения доли почвенных и грунтовых вод при минимальном водном стоке, минимум в апрельское половодье за счет талых вод и повышение летом и осенью при очевидной обратной связи с водным режимом (рис. 2, а). Минерализация озерных вод, в отличие от речных, практически не меняется в течение года и соответствует средневзвешенному значению минерализации речных вод (рис. 2, а).

Таблица 1

Общая гидрохимическая характеристика вод
Table 1. Basic hydrochemical parameters of waters

Объекты	pH	ЕС мкС/см	Σионов, мг/л	Формула Курлова
Р. Комиссаровка, n = 10	6.80 ± 0.2	84 ± 20	61 ± 15	$\frac{Ca^{2+}49 Mg^{2+}28 [Na^{+}18 K^{+}3]}{HCO_3^{-}78 [SO_4^{2-}13 Cl^{-}5 NO_3^{-}4]}$
Р. Мельгуновка, n = 10	6.9 ± 0.3	119 ± 33	84 ± 26	$\frac{Ca^{2+}46 Mg^{2+}28 [Na^{+}22 K^{+}4]}{HCO_3^{-}78 [SO_4^{2-}10 Cl^{-}10 NO_3^{-}2]}$
Р. Илистая, n = 10	6.80 ± 0.2	170 ± 61	116 ± 44	$\frac{Ca^{2+}51 Mg^{2+}27 [Na^{+}18 K^{+}4]}{HCO_3^{-}61 SO_4^{2-}29 [Cl^{-}8 NO_3^{-}2]}$
Р. Спасовка, n = 10	7.05 ± 0.2	218 ± 62	152 ± 44	$\frac{Ca^{2+}54 [Mg^{2+}24 Na^{+}18 K^{+}4]}{HCO_3^{-}72 [SO_4^{2-}13 Cl^{-}13 NO_3^{-}2]}$
Оз. Ханка*, n = 26	7.67 ± 0.74	152 ± 14	103 ± 11	$\frac{Ca^{2+}46 Mg^{2+}27 [Na^{+}21 K^{+}6]}{HCO_3^{-}67 [SO_4^{2-}17 Cl^{-}15 NO_3^{-}1]}$
Оз. Ханка**, n = 9	7.21 ± 0.35	149 ± 32	105 ± 24	$\frac{Ca^{2+}50 Mg^{2+}26 [Na^{+}18 K^{+}6]}{HCO_3^{-}76 [Cl^{-}13 SO_4^{2-}11 NO_3^{-}0]}$

Здесь и в табл. 2: * северо-западное (с. Платоно-Александровское) и западное побережье оз. Ханка (с. Астраханка); ** юго-восточное побережье оз. Ханка (с. Новосельское)

Растворенный органический углерод

По наблюдениям 2025 г. концентрация РОУ в речных водах составляла 1.8–8.9 мгС/л (рис. 2, табл. 2), при среднем 4.22 ± 1.87 мгС/л ($n = 41$), что близко среднему 5 мгС/л для незагрязненных рек мира [19]. Для концентрации РОУ в реках наблюдается выраженная сезонность. Зимой, когда реки питаются водами глубоких почвенных горизонтов, концентрации РОУ минимальны: 2–3 мгС/л, в теплый сезон концентрации возрастают до 4–9 мгС/л в половодье (апрель) и особенно в периоды циклонических осадков в августе–сентябре.

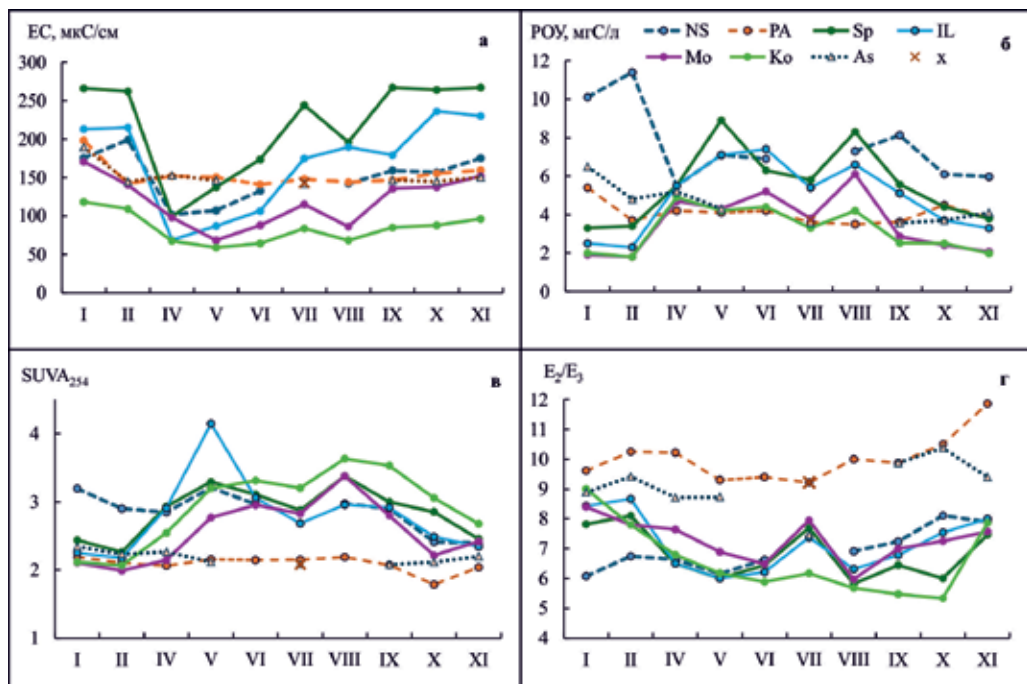


Рис. 2. Сезонное изменение минерализации, мкС/см (а), концентрации РОУ, мгС/л (б), показателей $SUVA_{254}$ (в) и E_2/E_3 (г) в реках и в самом оз. Ханка в 2025 г. Здесь и на рис. 3: NS – юго-восточное побережье, PA – северо-западное побережье, Платоно-Александровское, As – западное побережье, Астраханка, Sp – р. Спассовка, IL – р. Иллистая, Mo – р. Мельгуновка, Ko – р. Комиссаровка, x – открытая часть озера

Fig. 2. Seasonal variation of (a) mineralization ($\mu\text{S}/\text{cm}$), (б) DOC concentration (mgC/L), (в) $SUVA_{254}$ values, and (г) E_2/E_3 ratios in the rivers and Lake Khanka in 2025. For location symbols, see Fig. 1

Почвы как главный источник терригенного органического вещества (ОВ) представляют собой важнейший фактор при формировании потоков ОВ в речную гидросеть [19]. Наибольшей потенциальной способностью поставлять высокие концентрации РОУ отличаются торфяно-болотные и лугово-болотные почвы, для которых типично высокое содержание органического вещества гумусовой природы. Возможно поэтому концентрация РОУ в реках Иллистая и Спассовка выше, чем в р. Мельгуновка, и особенно в р. Комиссаровка, на водосборе которых преобладают горнолесные ландшафты [18]. Подробная информация об основных типах ландшафтов и почв бассейна оз. Ханка представлена на Почвенной карте (1 : 500000) и в пояснительной записке Г.И. Иванова [20]. Согласно автору, почвы бассейна р. Комиссаровка функционируют в ландшафтах быстрого и сдержанного водообмена. При значительных уклонах и высокой дренируемости горно-лесных почв Приморья время контакта склоновых вод с почвами минимально, поэтому концентрации РОУ в водах р. Комиссаровка в теплое время года самые низкие среди рек: 3–4 мгС/л (рис. 2, б).

Таблица 2

Содержание биогенных элементов, РОУ и его спектральные показатели в водах бассейна оз. Ханка

Table 2. Concentrations of biogenic elements, dissolved organic carbon (DOC), and associated spectral indices in the Lake Khanka basin waters.

Объект	РОУ, мгС/л	P _{общ.} , мкг/л	P-PO ₄ , мкг/л	N-NO ₃ , мг/л	Si, мг/л	SUVA ₂₅₄	E ₂ /E ₃
Р. Комиссаровка, n = 10	3.1 ± 1.2	15.3 ± 9.8	10.1 ± 7.0	0.33 ± 0.51	6.7 ± 1.0	2.9 ± 0.5	6.6 ± 1.2
Р. Мельгуновка, n = 10	3.5 ± 1.5	11.8 ± 10.5	5.3 ± 4.7	0.21 ± 0.23	5.5 ± 1.3	2.6 ± 0.5	7.3 ± 0.7
Р. Илистая, n = 10	4.9 ± 1.9	18.6 ± 11.5	6.3 ± 6.8	0.38 ± 0.18	6.0 ± 1.6	2.8 ± 0.6	7.2 ± 1.0
Р. Спасовка, n = 10	5.5 ± 1.9	28.1 ± 18	16.4 ± 13.4	0.75 ± 0.23	5.7 ± 1.4	2.9 ± 0.4	6.8 ± 0.9
Оз. Ханка*, n = 26	4.2 ± 0.8	58.5 ± 28.5	56.3 ± 30.6	0.21 ± 0.12	3.8 ± 0.9	2.1 ± 0.1	9.6 ± 0.9
Оз. Ханка**, n = 9	7.6 ± 2.0	6.5 ± 4.1	1.0 ± 0.7	0.07 ± 0.08	1.3 ± 0.7	2.9 ± 0.3	6.9 ± 0.7

В бассейне р. Мельгуновка сравнительно большую территорию занимают ландшафты плоских низких приозерных и речных террас с массивами и участками быстрого и затрудненного водообмена с застойным режимом. Бассейн выделяется большими с/х площадями, освоенными под овощные культуры и рисосеяние. Диапазон концентраций РОУ в течение года здесь 4–6 мгС/л, пик весеннего снеготаяния, как и для бассейна р. Комиссаровка, выражен слабо, но, в отличие от нее, наблюдается высоководный августовский максимум (рис. 2, б).

На самом крупном из рассматриваемых, водосборе р. Илистая, ряд типов дренируемых ландшафтов и почв расширяется, при этом меняется их соотношение в сторону более равнинных и гидроморфных [20]. В этом бассейне самые большие площади отведены для сельскохозяйственного производства. Соответственно повышается и уровень концентраций РОУ в точке отбора на р. Илистая (рис. 2, б).

Водосбор р. Спасовка – это самый густонаселенный, промышленно- и сельскохозяйственно-развитый район, он находится на юго-восточном побережье оз. Ханка, здесь самая большая доля ландшафтов с застойным водным режимом и вариантами торфяно-глеевых и дерново-торфянисто-глеевых почв [20]. Видимо, поэтому сезонная динамика распределения концентраций РОУ является наиболее выраженной по сравнению с другими реками, а уровень содержания РОУ в р. Спасовка выше, чем в других реках (рис. 2, б).

Таким образом, основным фактором, от которого зависит концентрация РОУ в речных водах бассейна оз. Ханка, является почвенный покров, который определяет запас углерода, способного к мобилизации. Хозяйственное освоение территории прямо или косвенно также может влиять на содержание подвижного углерода в почвах и грунтах. Однако непосредственным фактором, контролирующим мобилизацию из почв и концентрации РОУ в речных водах, выступает водный режим. Следует отметить также влияние такого локального фактора, как рельеф, действующий на мобилизацию РОУ через соотношение площадей горно-лесных и равнинных ландшафтов, присущих им типов почв и вариантов увлажнения. Закономерно, что по мере того, как выполаживаются долины рек, увеличивается их антропогенная освоенность. Известно, что в процессе землепользования из-за многократной механической обработки почвы и изъятия с/х продукции разрушается естественный биокруговорот углерода, и это приводит к постепенному снижению его содержания в почвах, данный фактор также воздействует и на концентрации РОУ, поскольку жидкая фаза стремится к равновесию с твердой [21].

В отличие от рек, где преобладает аллохтонное (педогенное) РОУ, в озерах, включая оз. Ханка, основным источником РОУ является автохтонная продукция фитопланктона [2, 22]. Содержание РОУ в водах оз. Ханка достаточно стабильно в течение года. Лишь в январе наблюдается незначительно (в 1.3–1.5 раза) повышенное его содержание (рис. 2, б). Юго-восточное побережье оз. Ханка по концентрации РОУ, как и по содержанию дру-

гих биогенных элементов, значительно отличается от остального озера. Весной и летом содержание РОУ в юго-восточном побережье озера близко к таковому в р. Спасовка, но зимой и осенью в 1.5–3 раза выше, в феврале достигает максимальной концентрации 11.4 мгС/л.

Помимо общего содержания растворенного органического вещества, отражаемого концентрацией РОУ, важное значение имеет его качественный состав и свойства, для характеристики которых разработан комплекс показателей [16, 17]. Одним из таких показателей является $SUVA_{254}$ – величина отношения поглощения света при 254 нм к содержанию РОУ (л/мг·м). Высокое значение $SUVA_{254}$ (>4) указывает на преобладание структур ароматических соединений почвенно-растительного происхождения в составе РОУ, а пониженная величина – на относительное доминирование продуктов метаболизма гидробионтов и микроорганизмов, представленных углеводами, в том числе полисахаридами [23].

Для рек бассейна оз. Ханка характерен весьма узкий диапазон значения $SUVA_{254}$ в пределах отдельно взятого опробования (см. рис. 2, в, табл. 2). Исключение представляет р. Илистая в мае, когда ароматичность РОУ аномально возрастает, по-видимому, за счет мобилизации РОУ из почв сырых лугов и болот, покрывающих большую территорию поймы р. Илистая в ее среднем и нижнем течении. В то же время общий тренд сезонности показателя $SUVA_{254}$ в реках бассейна оз. Ханка очевиден и значим: минимальная ароматичность РОУ наблюдается зимой и поздней осенью на фоне снижения общего содержания РОУ, в это время состав вод формируется за счет стока из глубоких почвенных горизонтов с минимальным содержанием гумусовых соединений. Повышенная ароматичность характерна для теплого времени года, когда обильные осадки выносят РОУ из гумусовых горизонтов почв (рис. 2, в).

Величина $SUVA_{254}$ в водах основной части озера находится на уровне 1.8–2.2 л/мг·м в течение всего года, т.е. на минимальном уровне, наблюдаемом в питающих его реках зимой. Очевидно, это может свидетельствовать о том, что автохтонное растворенное органическое вещество, продуцируемое в самом озере, содержит соединения РОУ с преобладанием углеводов и/или о достаточно глубокой и эффективной бактериальной деструкции аллохтонного РОУ, поступающего в озеро с речным стоком, что согласуется с данными В.В. Бульона [22] о деятельности специализированных деструкторов аллохтонного РОУ в озерных водах.

Показатель $SUVA_{254}$ в озерных водах юго-восточного побережья значительно выше, чем в остальной части озера, и находится на уровне, наблюдаемом в реках. Более того, в зимнее время $SUVA_{254}$ в юго-восточном побережье даже выше, чем в реках, в том числе в р. Спасовка (рис. 2, в). В сочетании с самой высокой концентрацией РОУ в этой части озера зимой это может указывать на дополнительное поступление растворенного органического вещества с высокой долей ароматических соединений в составе РОУ, вероятно, из заболоченных ландшафтов полуразрушенных мелиоративных систем устьевой зоны р. Спасовка. Именно устьевой, поскольку влияние мелиоративных систем нижнего течения р. Спасовка учитывалось нами отбором проб из данной реки в с. Новосельское.

Аналогичные и характерные величины $SUVA_{254}$, варьирующие от 1.60 до 4.96 л/мг·м, были получены ранее для малых озер – оз. Благодати, оз. Голубичное Сихотэ-Алинского заповедника и оз. Васьковское Дальнегогорского района Приморского края, а также для соответствующих питающих их рек и ручьев [24]. Как и для вод оз. Ханка, РОУ рек и ручьев, питающих эти малые озера, по химической природе является более ароматичным, гумусированным по сравнению с автохтонным РОУ озерных экосистем, где преобладают углеводы [23].

Обратным показателем $SUVA_{254}$ является отношение E_{250}/E_{365} (E_2/E_3), также характеризующее вклад ароматических гумусовых и углеводных соединений в молекулярную структуру РОУ, но оно не зависит от концентрации РОУ. Данным соотношением пользуются для отслеживания изменений относительного размера макромолекул РОУ. Когда растет

молекулярный вес, E_2/E_3 падает, поскольку высокомолекулярные фракции, представленные гумусовыми соединениями, сильнее поглощают свет при больших длинах волн [17]. Соответственно величина показателя E_2/E_3 в открытой части оз. Ханка и в прибрежье за пределами прямого влияния речного стока повышена до 9.5–11.5, в юго-восточном прибрежье, находящемся под очевидным влиянием стока р. Спасовка, снижается до 8–9, а в речных водах до 6–8 (см. рис. 2, г; табл. 2).

Кремний

Кремний, несмотря на то, что он является литофильным элементом, поступающим в природные воды преимущественно из пород, является критически важным для диатомовых водорослей. При высокой продуктивности водоемов происходит его активное потребление [25]. В речных водах бассейна озера концентрация растворенного кремния составляет 6.0 ± 1.4 мг/л. В целом сезонная динамика кремния в реках близка к таковой для минерализации (рис. 2, а и 3, а, табл. 2).

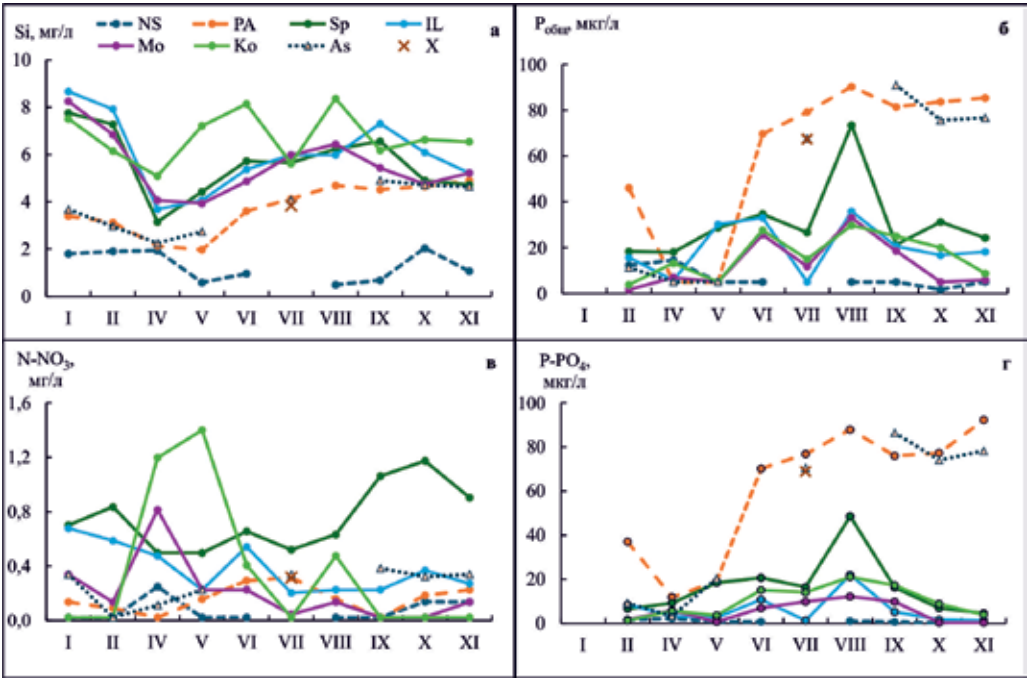


Рис. 3. Сезонная изменчивость концентраций биогенных элементов в оз. Ханка и в реках его бассейна в 2025 г. (а) – кремний общий растворенный (Si), мг/л, (б) фосфор общий растворенный (Робщ), мкг/л, (в) – азот нитратов (N-NO₃), мг/л, (г) – фосфор фосфатов (P-PO₄) мкг/л

Fig. 3. Seasonal variability of biogenic element concentrations in Lake Khanka and the rivers of its basin in 2025: (а) total dissolved silicon (Si, mg/L), (б) total dissolved phosphorus (P, µg/L), (в) nitrate nitrogen (N-NO₃, mg/L), (г) phosphate phosphorus (P-PO₄, µg/L)

Зимой, в подледный период, фиксируется максимум концентрации, вероятно, из-за снижения водности и более сильного влияния разгрузки подземных вод. Весной, во время половодья, происходит разбавление талыми вод, что сопровождается снижением концентраций. Летом и осенью отмечается рост содержания кремния, обусловленный поступлением его с поверхностным стоком с водосбора. При этом максимальные концентрации Si (до 8.4 мг/л) зафиксированы в летний период в р. Комиссаровка (рис. 3, а), что свидетельствует о повышенной роли горнолесных ландшафтов в поставке растворенного кремния в речной сток в теплое время года. Однако во всех остальных реках концентрация растворенного кремния практически одинакова, хотя сезонные изменения очевидны (рис. 3, а).

В озерных водах средняя концентрация растворенного кремния ниже, чем в реках, — 3.8 ± 0.9 мг/л. Потребление диатомовым фитопланктоном – наиболее вероятная причина. При этом в юго-восточной прибрежной зоне фиксируется особенно заметное снижение содержания растворенных силикатов до 1.3 ± 0.7 мгSi/л. Учитывая повышенную концентрацию растворенного Si в поступающих сюда речных водах до 4–7 мгSi/л, и то, что юго-восточное побережье находится под очевидным большим влиянием речного стока по сравнению с основной акваторией озера, это свидетельствует об особенно активном потреблении здесь кремния диатомовым фитопланктоном. Это подтверждается и данными дистанционного зондирования, отражающими повышенное содержание Chl”a” в юго-восточном побережье (рис. 1, а, с).

Сезонная динамика растворенного кремния в озере повторяет тренды для речных вод (снижение весной, рост летом и осенью), но с меньшими амплитудами колебаний (рис. 3а). Это обусловлено увеличением поступления растворенного Si с речным стоком в теплый период. Кроме того, в озере в течение лета наблюдается изменение доминирующих видов фитопланктона от диатомовых к синезеленым водорослям [26], что очевидно сопровождается уменьшенным потреблением растворенного Si и увеличением его концентрации в воде.

Фосфор

Среднее за год содержание $P_{\text{общ.}}$ и $P\text{-}PO_4$ в реках бассейна оз. Ханка составляет 18.5 ± 13.8 и 9.5 ± 9.3 мкг/л соответственно (см. табл. 2). Повышенная концентрация характерна для р. Спасовка, что связано, вероятно, с максимальной антропогенной нагрузкой [7]. В остальных реках уровень содержания фосфатов близок в пределах отдельных опробований. Однако сезонная изменчивость концентрации и фосфатов и общего растворенного фосфора в реках выражена однозначно: повышенная концентрация растворенных форм фосфора наблюдалась в теплый период с максимумами во время летних муссонных дождей (рис. 3, б, в). Зимой и поздней осенью имеет место 2–4-кратное снижение уровней растворенного фосфора в реках, что обусловлено уменьшением интенсивности биогеохимических процессов и соответственно меньшим поступлением с водосборного бассейна. Поскольку весеннее половодье с максимальными расходами воды не сопровождается значительными изменениями концентрации растворенных форм фосфора (рис. 3, б, в), можно предположить, что в отличие от ионов макросостава и PO_4 , для которых водный сток являлся главным контролирующим фактором, концентрация растворенных форм фосфора в речных водах бассейна оз. Ханка зависит больше от интенсивности биогеохимических процессов их мобилизации на водосборе.

В озере содержание $P_{\text{общ.}}$ и $P\text{-}PO_4$ весьма изменчиво и составляет в среднем 58.5 ± 28.5 и 56.3 ± 30.6 мкг/л соответственно (табл. 2). При этом, как и в случае с кремнием, наблюдается пространственная неоднородность. Крайне низкие концентрации как общего, так и минерального фосфора в юго-восточном побережье озера (5–15 и 1–2 мкг/л соответственно) подтверждают предположение об аномально высоком уровне первичной продукции на этом участке, как и в случае с кремнием.

Значительное превышение концентраций фосфора в основной водной массе озера Ханка по сравнению с реками (в 2–4 раза летом и осенью) объясняется аккумуляцией биогенных элементов в водоеме, внутриводоемными процессами, сезонным развитием фитопланктона и его последующим отмиранием, а также возможным потоком фосфатов из донных отложений. По данным Савенко [27], значительная часть фосфора (до 50–80 %) может находиться во взвеси и в донных отложениях.

Соотношение растворенных форм фосфора отражает особенности круговорота элемента в разных водных объектах. В реках доля минеральной формы фосфора от общего варьируется в широких пределах — 5–95 % (в среднем около 45 %). Такая высокая вариабельность связана с различиями в гидрологических условиях и антропогенной нагрузке. В основной части озера доля минеральной формы ($P\text{-}PO_4$) от общего ($P_{\text{общ.}}$) возрастает

до 60–95 % (в среднем около 70 %). Это указывает на активную трансформацию органических веществ: быструю минерализацию органических соединений фосфора и эффективный обмен между растворенными и взвешенными формами. Исключением является юго-восточный участок озера, где концентрации фосфора гораздо ниже и наблюдается тенденция к преобладанию органических форм. Высокие летние концентрации общего фосфора в основной части озера (до 90 мкг/л) свидетельствуют о развитии эвтрофикации в этот период. Это может проявляться в массовом размножении фитопланктона, снижении прозрачности воды и дефиците кислорода в придонных слоях. Выявленные закономерности распределения и сезонной динамики растворенного фосфора подчеркивают сложность биогеохимических процессов в акватории оз. Ханка и необходимость комплексного подхода и учета роли донных отложений и взвешенных частиц в его круговороте.

Азот нитратов

В реках бассейна оз. Ханка наблюдаются заметные различия в концентрации нитратного азота и выраженная сезонная динамика (рис. 3, в). Река Спасовка характеризуется наиболее высокими уровнями нитратов с годовым диапазоном 0.5–1.2 мг (0.8 ± 0.2 мгN/л). Зимой концентрация составляет 0.7–0.8 мгN/л из-за замедления биотических процессов и, возможно, снижения водности. Весной, в период половодья (апрель—май), уровень снижается до 0.5 мгN/л за счет разбавления тальными водами. Осенью фиксируется пик до 1.1–1.2 мг N/л, что может свидетельствовать о разложении органического вещества и дополнительной антропогенной нагрузке. Реки Комиссаровка и Мельгуновка характеризуются более низкими концентрациями: годовой диапазон составляет 0.02–1.4 мгN/л и 0.02–0.8 мгN/л соответственно. Характерной особенностью сезонной динамики нитратов в р. Комиссаровка, и в меньшей степени в р. Мельгуновка, является весенний максимум (апрель—май), который, вероятно, вызван вымыванием минеральных азотных соединений из почвы при таянии снега. Это характерно для относительно чистых водотоков с низким уровнем антропогенного воздействия. В остальное время года уровень нитратов здесь существенно ниже, чем в р. Спасовка, что может быть связано с преобладанием лесных экосистем на водосборах [7]. Река Илистая занимает промежуточное положение с диапазоном нитратного азота 0.2–0.7 мгN/л. Зимой отмечаются концентрации до 0.6–0.7 мгN/л — вероятно, из-за снижения стока и накопления минеральных форм азота. Во время весеннего половодья уровень снижается до 0.2–0.5 мг N/л за счет разбавления. После половодья концентрация остается стабильно низкой, без выраженного осеннего роста.

В водах оз. Ханка уровень концентрации нитратного азота соответствует минимальному, наблюдаемому в р. Мельгуновка (см. табл. 2, рис. 3в). В исследованных прибрежных зонах годовой диапазон составляет 0.02–0.4 мгN/л. Как и по другим биогенным веществам, выделяется юго-восточное побережье, находящееся под влиянием стока р. Спасовка. Здесь концентрация нитратного азота находится на минимальном уровне 0.02 мгN/л практически круглый год. В сочетании с повышенным уровнем нитратов в р. Спасовка (рис. 3в) это свидетельствует о высоком ассимиляционном потенциале устьевых зон рек, впадающих в оз. Ханка. Сезонная изменчивость концентрации нитратного азота в озере слабо выражена и не однозначна. Очевидно, что для комплексной оценки трофического статуса водоема необходимо дополнительное изучение других форм азота — аммонийного и органического, чтобы получить полную картину биогенной нагрузки и потенциальных рисков эвтрофикации.

Заключение

Сезонный мониторинг гидрохимии речных вод, выполненный в 2025 г. на основных четырех реках, питающих оз. Ханка, показал, что состав вод каждой реки отражает ландшафтные особенности ее водосбора. По увеличению минерализации и степени

антропогенной нагрузки реки образуют ряд: Комиссаровка–Мельгуновка–Илистая–Спасовка. В этом же ряду возрастает контрастность сезонных изменений минерализации и концентрации макроионов. При этом характер сезонной динамики этих показателей был одинаков: максимум зимой, минимум в весеннее половодье, постепенное возрастание летом и осенью с сезонным коэффициентом вариации 25–35 %. Воды рек сохраняли гидрокарбонатно-кальциевый ультрапресный тип минерализации. Исключение составляла р. Илистая, имевшая гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевый тип вод. Озерные воды также имели гидрокарбонатно-кальциевый состав, но, в отличие от рек, сезонный коэффициент вариации минерализации и макросостава в оз. Ханка не превышал 10–12 %, т.е. сезонная изменчивость речного стока практически не влияла на состав основной водной массы озера. Лишь в юго-восточном побережье, находящемся под прямым влиянием стока р. Спасовка, сезонный коэффициент вариации минерализации возрастал до 24 % за счет зимний межени и весеннего половодья.

Круглогодичные исследования концентраций РОУ в реках бассейна оз. Ханка показали, что их сезонная и пространственная изменчивость достаточно выражена и определяется водным режимом, типичным для муссонного климата юга Дальнего Востока. Водосборы рек различаются по скорости водообмена, представляя ряд сочетаний ландшафтов быстрого и сдержанного водообмена (западная часть бассейна оз. Ханка) с ландшафтами застойного водного режима (южная и юго-восточная часть бассейна). В результате уровень концентрации РОУ в реках Комиссаровка и Мельгуновка в 1.5 раза ниже, чем в реках Илистая и Спасовка, хотя характер сезонной изменчивости РОУ во всех реках одинаков: минимум зимой и поздней осенью и увеличение в 2–3 раза летом. Повышенное значение показателя $SUVA_{254}$ в теплое время года отражает доминирование гумусовых педогенных соединений в составе РОУ рек бассейна оз. Ханка.

В отличие от рек, концентрация РОУ озерных вод в западном побережье достаточно стабильна в течение года и составляет 5–7 мгС/л, что превышает зимний уровень в реках, но ниже, чем летом. Величина $SUVA_{254}$ (1.8–2.2 л/мг*м) и равномерное пространственно-временное распределение этого показателя свидетельствуют о существенном вкладе автохтонного РОУ, представленного преимущественно водорастворимыми углеводами. Воды юго-восточного побережья озера отличаются своими круглогодно более высокими концентрациями РОУ (6–11 мгС/л) и динамикой показателя $SUVA_{254}$, характеризующей присутствие здесь РОУ ароматической природы, источником которого, вероятно, являются торфяно-болотные почвы Приханкайской низменности.

Биогенные элементы, в отличие от минерализации и макроионов, демонстрируют различное распределение в реках и в самом озере. В реках концентрация растворенного Si контролируется преимущественно водным режимом и в меньшей степени процессами на водосборах. Для фосфора, напротив, определяющим является сезонное (летнее) усиление мобилизационных процессов на водосборах, с подчиненным влиянием водного режима. Для нитратного азота роль ландшафтов на водосборе и водного режима меняется от реки к реке. В озере главными факторами, контролирующими сезонную и пространственную изменчивость концентрации биогенных элементов, являются внутриводоемные процессы: биоассимиляция Si фитопланктоном зимой и весной и мобилизация фосфора в раствор из взвеси и донных отложений летом и осенью.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ: грант «Трансформация гидрологического режима и ее экологическое воздействие на российско-китайскую трансграничную геосистему оз. Ханка в условиях изменения окружающей среды» (№ 25-47-00022). Авторы выражают благодарность С.В. Катрасову, к.г.н., научному сотруднику лаборатории моделирования динамики геосистем ТИГ ДВО РАН за предоставление спутниковых данных.

Acknowledgments. The work was carried out with the financial support of the Russian National Research for Foundation grant 25-47-00022 “Transformation of the hydrological regime and its environmental impact on the Russian-Chinese transboundary geosystem of Lake Khanka in a changing environment”. The authors would like to thank Katrasov S.V., PhD, candidate of geographical sciences, research associate of the Laboratory of the geosystems modeling dynamics of the TIG FEB RAS for providing the satellite data.

Литература

1. Бакланов П.Я., Качур А.Н., Ермошин В.В., Коженкова С.И., Махинов А.Н., Бугаец А.Н., Базарова В.Б., Ким В.И., Шамов В.В. Современные геоэкологические проблемы в бассейне озера Ханка // География и природные ресурсы. 2019. № 4 (158). С. 33–43.
2. Щур Л.А., Бондаренко Н.А. Сравнительный анализ фитопланктона озер Байкал и Ханка // Гидробиологический журнал. 2012. Т. 48, № 1. С. 16–26.
3. Апонасенко А.Д., Лопатин В.Н., Щур Л.А., Филимонов В.С., Назаров В.А. Современное состояние озера Ханка по некоторым гидробиологическим и гидрофизическим показателям // Изв. ТИНРО. 2000. Т. 127. С. 535–558.
4. Чудаева В.А. Миграция химических элементов в водах Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 2002. 392 с.
5. Матвеев В.И., Курносова (Важнова) А.С., Катайкина О.И. Результаты гидрохимического мониторинга озера Ханка в 2016–2018 годах // Тихоокеанская география. 2020. № 3. С. 47–55.
6. Катайкина О.И., Матвеев В.И., Фигуркин А.Л. Гидрологическая и гидрохимическая характеристика юго-западной части озера Ханка в зимний период 2016 г. – 2023 г. // Гидрометеорология и экология. 2023. № 73. С. 699–710.
7. Коженкова С.И., Юрченко С.Г., Базаров К.Ю. Биогенные вещества в реках водосборного бассейна озера Ханка // Тихоокеанская география. 2024. № 2. С. 107–119.
8. Kurnosova A.S., Matveev V.I., Kataykina O.I. Trends in water quality parameters and trophic level of Lake Xingkai / Khanka. // Environ Monit Assess. 2025. Vol. 197. 1359.
9. Шестеркин В.П. Особенности формирования химического состава воды озера Ханка // Трансграничные водные объекты: использование, управление, охрана: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Новочеркасск: ООО «Лик», 2021. С. 393–398.
10. Коженкова С.И., Юрченко С.Г. Содержание биогенных элементов в воде рек Спасовка и Комиссаровка, Приморский край // Геосистемы Северо-Восточной Азии: природные и социально-экономические структуры: сборник научных статей. Владивосток: ТИГ ДВО РАН, 2023. С. 102–106.
11. Yu Shuling, Li Xiaoyu, Wen Bolong, Chen Guoshuang, Hartley Anne, Jiang Ming, Li XiuJun. Characterization of water quality in Xiao Xingkai Lake: implications for trophic status and management // Chinese geographical science. 2021. Vol. 31, N 3. P. 558–570.
12. Wu Y., Chen D., Liu Y., Li F., Wang P., Wang R., Shamov V.V., Zhu A.-X., Deng C. Water quality changes in the Xingkai (Khanka) Lake, Northeast China, driven by climate change and human activities: insights from published data (1990–2020) // Water. 2024. N 16. 3080.
13. Егидарев Е.Г., Базаров К.Ю., Мишина Н.В. Современное использование земель в бассейне оз. Ханка // Геосистемы Северо-Восточной Азии: особенности их пространственно-временных структур, районирование территории и акватории. Сборник научных статей. Владивосток: ФГБУН Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, 2019. С. 197–203.
14. Bugaets A.N., Lupakov S.Yu., Gonchukov L.V., Shamov V.V. The Influence of Tributary Runoff Components on the Dynamics of the Khanka Lake Level // Water Resources. 2025. Vol. 52. P. 843–852.
15. Zsolnay A. Dissolved organic matter: artefacts, definitions, and functions // Geoderma. 2003. Vol. 113. P. 187–209.
16. Weishaar J., Aiken G., Bergamaschi B., Fram M., Fugii R., Mopper K. Evaluation of specific ultraviolet absorbance as an indicator of the chemical composition and reactivity of dissolved organic carbon // Environ. Sci. Technol. 2003. Vol. 37. P. 4702–4708.
17. Helms J.R., Ritchie J.D., Stubbins A., Jason D., Minor E.C., Kieber D.J., Mopper K. Absorption spectral slopes and slope ratios as indicators of molecular weight, source, and photobleaching of chromophoric dissolved organic matter // Limnol. Oceanogr. 2008. Vol. 53, N 3, P. 955–969.
18. Ермошин В.В., Пшеничникова Н.Ф. Картографическое изучение почвенно-географических закономерностей бассейна Амура // География и природные ресурсы. 2009. № 4. С. 25–32.
19. Meybeck M. Carbon, nitrogen, and phosphorus transport by World Rivers. // Amer. J. Sci. 1982. Vol. 282, N 4. P. 401–450.
20. Иванов Г.И. Почвенная карта Приморского края. Масштаб 1 : 500000. Хабаровск: ГУГК № 2, 1983. 4, 5, 7, 8 листы.
21. Zsolnay A. Dissolved humus in soil waters // Piccolo A. (Ed.). Humus Substances in terrestrial ecosystems. Amsterdam: Elsevier, 1996. P. 171–223.
22. Бульон В.В. Автохтонное и аллохтонное органическое вещество в трофической цепи озерных экосистем // Труды ЗИН. 2017. Т. 321, № 2. С. 115–128.
23. Линник П.Н., Жежеря В.А., Линник Р.П. Роль нейтральной фракции растворенных органических веществ в миграции металлов в поверхностных водах: I. Содержание и источники углеводов в разнотипных водных объектах // Экологическая химия. 2017. Т. 26, № 4. С. 214–222.
24. Lutsenko T.N., Chernova E.N., Lysenko E.V., Ryzhakov D.S. Organic matter in the small lakes of the Sikhote-Alin Biosphere Reserve Organic Matter in the Small Lakes of the Sikhote-Alin Biosphere Reserve // Achievements in the Life Sciences. 2015. Vol. 9 (1). P. 32–36.

25. Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А. Формирование химического состава вод озёр в условиях изменения окружающей среды. Москва: Наука, 2010. 266 с.
26. Yuan Y., Jiang M., Zhu X., Yu H., Otte M.L. Interactions between Fe and light strongly affect phytoplankton communities in a eutrophic lake // *Ecological Indicators*. 2021. Vol. 126, 107664.
27. Савенко В.С., Савенко А.В. Геохимия фосфора в глобальном гидрологическом цикле. Москва: ГЕОС, 2007. 247 с.

References

1. Baklanov, P.Y.; Kachur, A.N.; Ermoshin, V.V.; Kozhenkova, S.I.; Bugaets, A.N.; Bazarova, V.B.; Shamov, V.V.; Makhinov, A.N.; Kim, V.I. Current geo-ecological problems within the Lake Khanka drainage basin. *Geography and Natural Resources*. 2019; 40(4):325–334.
2. Shchur, L.A.; Bondarenko, N.A. Comparative analysis of phytoplankton of lakes Baikal and Khanka. *Hydrobiological Journal*. 2012;48(1):16–26. (In Russian).
3. Aponasenko, A.D.; Lopatin, V.N.; Shchur, L.A.; Filimonov, V.S.; Nazarov, V.A. Modern state of Khanka Lake by some hydrobiological and hydrophysical indicators. *Izvestiya TINRO*. 2000;(127):535–558. (In Russian).
4. Chudaeva, V. A. Chemical elements migration in the waters of the Far East. Vladivostok: Dalnauka, 2002; 392 p. (In Russian).
5. Matveev, V.I.; Kurnosova (Vazhova), A.S.; Kataikina, O.I. Results of monitoring of Lake Khanka in 2016–2018. *Pacific Geography*. 2020;(3):47–55. (In Russian).
6. Kataykina, O.I.; Matveev, V.I.; Figurkin, A.L. Hydrological and hydrochemical characteristics of the south-western part of Lake Khanka in winter of 2016–2023. *Hydrometeorology and ecology*. 2023;(73):699–710. (In Russian).
7. Kozhenkova, S.I.; Yurchenko, S.G.; Bazarov, K.Yu. Nutrients in the rivers of the Lake Khanka drainage basin. *Pacific Geography*. 2024;(2):107–119. (In Russian).
8. Kurnosova, A.S.; Matveev, V.I.; Kataykina, O.I. Trends in water quality parameters and trophic level of Lake Xingkai / Khanka. *Environ Monit Assess*. 2025;(197):1359.
9. Shesterkin, V.P. Specific features of forming of the chemical composition of the water in Khanka Lake. In *Trans-boundary water bodies: use, management, and protection: All-Russian theoretical and practical conference with international participation*. LLC “Lik”: Novocherkassk, Russia, 2021:393–398. (In Russian).
10. Kozhenkova, S.I.; Yurchenko, S.G. Content of Biogenic Elements in the Water of the Spasovka and Komisarovka Rivers, Primorsky Krai. In *Collection of Articles Geosystems of Northeast Asia: Natural and Socio-Economic Structures*. TIG FEB RAS: Vladivostok, Russia, 2023:102–106. (In Russian).
11. Yu, Shuling; Li, Xiaoyu; Wen, Bolong; Chen, Guoshuang; Hartley, Anne; Jiang, Ming; Li, Xiujun. Characterization of water quality in Xiao Xingkai Lake: implications for trophic status and management. *Chinese geographical science*. 2021;31(3):558–570.
12. Wu, Y.; Chen, D.; Liu, Y.; Li, F.; Wang, P.; Wang, R.; Shamov, V.V.; Zhu, A.-X.; Deng, C. Water quality changes in the Xingkai (Khanka) Lake, Northeast China, driven by climate change and human activities: insights from published data (1990–2020). *Water*. 2024;(16):3080.
13. Egidarev E.G., Bazarov K.Y., Mishina N.V. Current landuse in the Khanka Lake basin. In *Geosystems of North-East Asia: the peculiarities of their spatial-temporal structures, zoning of land and waters* /Eds. P.Y. Baklanov, V.V. Yermoshin, K.S. Ganzey, Pacific Institute of Geography FEB RUS: Vladivostok, Russia, 2019:197–203. (In Russian).
14. Bugaets, A.N.; Lupakov, S.Yu.; Gonchukov, L.V.; Shamov, V.V. The Influence of Tributary Runoff Components on the Dynamics of the Khanka Lake Level. *Water Resources*. 2025;(52):843–852.
15. Zsolnay, A. Dissolved organic matter: artefacts, definitions, and functions. *Geoderma*. 2003;(113):187–209.
16. Weishaar, J.; Aiken, G.; Bergamaschi, B.; Fram, M.; Fugii, R.; Mopper, K. Evaluation of specific ultraviolet absorbance as an indicator of the chemical composition and reactivity of dissolved organic carbon. *Environ. Sci. Technol*. 2003;(37):4702–4708.
17. Helms, J.R.; Ritchie, J.D.; Stubbins, A.; Jason, D.; Minor, E.C.; Kieber, D.J.; Mopper, K. Absorption spectral slopes and slope ratios as indicators of molecular weight, source, and photobleaching of chromophoric dissolved organic matter. *Limnol. Oceanogr*. 2008;53(3):955–969.
18. Yermoshin, V.V.; Pshenichnikova, N.F. Cartographic study of the soil-geographical regularities within the Amur basin. *Geography and Natural Resources*. 2009;30(4):332–339. (In Russian).
19. Meybeck, M. Carbon, nitrogen, and phosphorus transport by World Rivers. *Amer. J. Sci*. 1982;282(4): 401–450.
20. Ivanov, G.I. Soil map of Primorsky Krai. Scale 1:500000. GUGK № 2: Khabarovsk, Russia, 1983; Sheets 4, 5, 7, 8. (In Russian).
21. Zsolnay, A. Dissolved humus in soil waters. In: Piccolo, A. (Ed.), *Humus Substances in terrestrial ecosystems*. Elsevier: Amsterdam, Netherlands, 1996; 171–223.
22. Boulion, V.V. Autochthonous and allochthonous organic matter in the trophic chain of lake ecosystems. *Proceedings of ZIN*. 2017;321(2):115–128. (In Russian).
23. Linnik, P.N.; Zhezherya, V.A.; Linnik, R.P. Role of neutral fraction of dissolved organic matter in the migration of metals in surface waters: I. Content and sources of carbohydrates in different type water bodies. *Ecological Chemistry*. 2017;26(4):214–222. (In Russian).

24. Lutsenko, T.N.; Chernova, E.N.; Lysenko, E.V.; Ryzhakov, D.S. Organic matter in the small lakes of the Sikhote-Alin Biosphere Reserve. *Achievements in the Life Sciences*. 2015;9(1):32–36.
25. Moiseenko, T.I.; Gashkina, N.A. Formation of the chemical composition of lake waters under environmental conditions. Nauka: Moscow, Russia, 2010; 266 p. (In Russian).
26. Yuan, Y.; Jiang, M.; Zhu, X.; Yu, H.; Otte, M.L. Interactions between Fe and light strongly affect phytoplankton communities in a eutrophic lake. *Ecological Indicators*. 2021;(126):107664.
27. Savenko, V.S.; Savenko, A.V. Phosphorus geochemistry in the Global hydrological cycle. GEOS: Moscow, Russia, 2007; 247 p. (In Russian).

Статья поступила в редакцию 13.05.2026; одобрена после рецензирования 19.06.2026; принята к публикации 19.06.2026.

The article was submitted 13.05.2026; approved after reviewing 19.06.2026; accepted for publication 19.06.2026.



Органические токсиканты в промысловых рыбах Охотского моря. Часть 1. Полициклические ароматические углеводороды в минтае тихоокеанском

Максим Михайлович ДОНЕЦ¹
кандидат биологических наук, старший 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>

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

Анна Владимировна ЛИТВИНЕНКО²
кандидат биологических наук, доцент
litvinenko.av@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3423-3860>

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

Андрей Александрович ШЕСТЁРА³
магистрант
shestera.2017@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0001-1217-7423>

Никита Дмитриевич ВАСИЛЕНКО³
магистрант
skameika00@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0004-2364-4658>

Владимир Алексеевич ЛЯХ^{1,3}
кандидат технических наук, декан
lyah.va@dvfu.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6999-2210>

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

¹ Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия

² Сахалинский государственный университет, Южно-Сахалинск, Россия

³ Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

Аннотация. В работе исследован минтай, отобранный в Амурском лимане Охотского моря, определены концентрации полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в его органах, проанализированы их потенциальные источники поступления, проведено сравнение полученных значений с нормативной документацией различных стран мира. ПАУ обнаружены во всех образцах. Наибольшие концентрации общих и высокомолекулярных соединений зафиксированы в печени рыб, что соответствует ее наибольшей жирности и функции в организме. Уровни низкомолекулярных углеводородов достоверно не различались между органами, что говорит о хроническом характере загрязнения. Основное распределение концентраций происходило в порядке: печень > гонады самцов > икра > мышцы (достоверно или на уровне тенденции). Оценка качественного состава выявила преобладание низкомолекулярных соединений в общем профиле, среди которых доминировали нафталин, фенантрен и флуорен. Среди высокомолекулярных конгенов преобладали пирен, хризен и флуорантен. Качественный профиль ПАУ в органах минтая полностью соответствовал данным для воды, полученным ранее в этом районе. Основные индикаторные соотношения ПАУ указывают на преобладание соединений петрогенного происхождения, что соответствует специфическим геохимическим условиям Амурского лимана (наличие нефтяных залежей), а также высокой антропогенной нагрузке. Сравнение уровней ПАУ в органах рыбы с нормативами Российской Федерации и других стран выявило ее полное несоответствие требованиям безопасности ЕС для копченой продукции по содержанию суммы четырех наиболее опасных и распространенных ПАУ – бензо[а]пирена, бензо[а]антрацена, бензо[б]флуорантена и хризена. Это говорит о серьезной нагрузке ПАУ на промысловые виды гидробионтов и о необходимости актуализации действующих нормативов в части регулирования их содержания в пищевой продукции.

Ключевые слова: ПАУ, минтай, пищевая безопасность, Охотское море

Для цитирования: Донец М.М., Беланов М.А., Боровкова А.Д., Литвиненко А.В., Масалева К.Р., Шестёра А.А., Василенко Н.Д., Лях В.А., Цыганков В.Ю. Органические токсиканты в промысловых рыбах Охотского моря. Часть 1. Полициклические ароматические углеводороды в минтае тихоокеанском // Тихоокеанская география. 2026. № 3. С. 80–90. https://doi.org/10.35735/26870509_2026_27_7

Original article

Organic toxicants in commercial fish species from the Sea of Okhotsk. Part 1. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Alaska pollock

Maksim M. DONETS¹

Candidate of Biological Sciences, Senior research associate
maksim.donecz@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2108-4448>

Maksim A. BELANOV¹

Junior research associate
belanov.ma@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0974-9176>

Alexandra D. BOROVKOVA¹

Junior research associate
borovkovasdm@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0007-3285-822X>

Anna V. LITVINENKO^{1, 2}

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department
litvinenko.av@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3423-3860>

Kristina R. MASALEVA¹
Junior research associate
masaleva.kr@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0002-6393-8533>

Andrey A. SHESTERA³
Master's student
shestera.2017@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0001-1217-7423>

Nikita D. VASILENKO³
Master's student
skameika00@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0004-2364-4658>

Vladimir A. LYAKH^{1,3}
Candidate of Technical Sciences, Dean
lyah.va@dvfu.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6999-2210>

Vasiliy Yu. TSYGANKOV¹
Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Leading research associate
tsig_90@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5095-7260>

¹ Pacific Geographical Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

² Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

³ Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

Abstract. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are among the most priority environmental pollutants with numerous anthropogenic and natural sources. Alaska pollock (*Gadus chalcogrammus*) is one of the most important commercial fishery resources in Russia. Due to its ecological characteristics, it may be particularly susceptible to the impact of these compounds. This study investigated pollock collected in the Amur Liman of the Sea of Okhotsk, determined the concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons in its organs, discussed their potential sources, and compared the obtained values with regulatory standards from various countries worldwide. PAHs were detected in all samples. The highest concentrations of total and high-molecular-weight compounds were recorded in fish liver, which corresponds to its highest lipid content and function in the organism. The levels of low-molecular-weight hydrocarbons did not differ significantly between organs, indicating chronic pollution. The primary distribution of concentrations followed the order: liver > male gonads > eggs > muscle (significantly or as a trend). An assessment of qualitative composition revealed a predominance of low-molecular-weight compounds in the overall profile, among which naphthalene, phenanthrene, and fluorene were dominant. Among high-molecular-weight congeners, pyrene, chrysene, and fluoranthene predominated. The qualitative profile of the Alaska pollock completely matched previously obtained PAH levels in water for this area. Key diagnostic ratios of PAHs indicate a predominance of compounds of petrogenic origin, which corresponds to the specific geochemical conditions of the Amur Liman (presence of oil deposits) as well as high anthropogenic pressure. Comparing PAH levels in fish organs with Russian and international standards revealed its complete non-compliance with safety requirements for smoked products concerning the content of the sum of four of the most hazardous and widespread PAHs – benzo[a]pyrene, benzo[a]anthracene, benzo[b]fluoranthene, and chrysene – as stipulated by the EU. This points to a serious PAH burden on commercial aquatic species and underscores the need to update existing regulations regarding the control of their content in food products.

Keywords: PAH, Alaska pollock, food safety, Sea of Okhotsk

For citation: Donets M.M., Belanov M.A., Borovkova A.D., Litvinenko A.V., Masaleva K.R., Shestera A.A., Vasilenko N.D., Lyakh V.A., Tsygankov V.Yu. Organic toxicants in commercial fish species from the Sea of Okhotsk. Part 1. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Alaska pollock. *Pacific Geography*. 2026;(3):80–90. (In Russ.). https://doi.org/10.35735/26870509_2026_27_7

Введение

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – большая группа загрязняющих веществ, широко распространенная в окружающей среде. Их образование связано прежде всего с высокотемпературными пиролизическими и геохимическими процессами, в связи с чем они активно образуются в процессе хозяйственной деятельности человека [1]. ПАУ содержат в составе молекулы два и более ароматических кольца, в соответствии с чем их делят на низкомолекулярные («легкие», содержат 2–3 кольца) и высокомолекулярные («тяжелые», содержат 4–6 колец) [2]. Они считаются канцерогенными соединениями и способны оказывать тератогенное и мутагенное воздействие на водные организмы, а также на человека в результате употребления морепродуктов [1]. За счет своих свойств наиболее опасные ПАУ (16 приоритетных) включены во многие списки токсикантов для обязательного мониторинга загрязнения окружающей среды Агентством по защите окружающей среды США (US EPA), Европейским Союзом в рамках Water Framework Directive 2000/60/EC и др. [3, 4].

Минтай тихоокеанский (*Gadus chalcogrammus* Pallas, 1814) – один из наиболее важных промысловых объектов Российской Федерации. Ежегодный улов этой рыбы колеблется от 1921 до 2000 тыс. т, составляя до половины общего вылова рыбной продукции в стране [5]. Несмотря на высокую важность с точки зрения обеспечения продовольственной безопасности, а также высокую значимость для экосистем [6, 7], данные о содержании токсичных соединений в этом виде рыб фактически отсутствуют в научной литературе. Учитывая особенности жизненной стратегии минтая – вертикальные миграции и способность питаться в том числе в придонном слое, уровни ПАУ в его органах могут быть весьма значительны [8]. Цель работы – определить концентрации полициклических ароматических углеводородов в органах минтая тихоокеанского (*G. chalcogrammus*), предположить потенциальные источники поступления ПАУ в организм рыбы и сравнить полученные значения с нормативной документацией различных стран мира.

Материалы и методы

Образцы отбирались в октябре–ноябре 2023 г. в Амурском лимане (северо-западная часть Охотского моря). Исследовано 50 особей половозрелых рыб со средним размером 583.9 ± 47.8 мм и массой 1054.0 ± 351.1 г. После вылова рыб измеряли, взвешивали, замораживали при -20 °C и транспортировали в лабораторию. После извлечения органов из тушек рыб пробы лиофилизировали с использованием лиофильной сушки FD-1A-50 (Shanghai Bilon Instrument Co., Ltd, Shanghai, China) и измельчали. Выделение ПАУ (нафталин (NAP), аценафтен (AC), флуорен (FL), фенантрен (PHE), антрацен (AN), флуорантен (FA), пирен (PY), бензо[а]антрацен (BaA), хризен (CHR), бензо[б]флуорантен (BbFA), бензо[к]флуорантен (BkFA), бензо[а]пирен (BaP), бензо[g,h,i]перилен (BghiP), дибензо[а,h]антрацен (DBahA)) осуществляли с помощью смеси гексана и ацетона (1:1) с использованием ультразвука. Липиды удаляли колоночной хроматографией с использованием фильтра Шотта и оксида алюминия. Инструментальное определение осуществляли на газовом хромато-масс-спектрометре Shimadzu GC-MS QP 2010 Ultra, оснащенный автодозатором AOC-5000 и капиллярной колонкой SLB-5ms (Supelco). Для контроля качества и выполнения аналитических процедур на регулярной основе использовались холостые и смешанные образцы. Перед каждой серией проб в хроматограф закалывали стандартные смеси для удостоверения в стабильности времени выхода соединений [9]. Статистический анализ проводили с использованием программного обеспечения R 4.2.2 для операционной системы Windows 10.

Результаты и их обсуждение

Концентрации ПАУ. Полициклические ароматические углеводороды обнаружены во всех проанализированных образцах минтая тихоокеанского (рис. 1). Печень, как основной метаболически активный и «жирный» орган (рис. 1, А), характеризовалась достоверно большими уровнями аккумуляции высокомолекулярных конгенов (Σ ВМ-ПАУ) и общего содержания Σ ПАУ, по сравнению с мышцами и икрой (рис. 1, В, Г). Уровни токсикантов в гонадах самцов достоверно не отличались от печени, что это может быть связано с малой выборкой этого органа.

Уровни низкомолекулярных (Σ НМ-ПАУ) конгенов достоверно не различались (рис. 1, Б), что может указывать на хроническое загрязнение с постоянным уровнем этих поллютантов в окружающей среде и объектах питания минтая. В то же время концентрации этой группы токсикантов имели тенденцию к распределению в порядке: гонады самцов > печень > икра > мышцы.

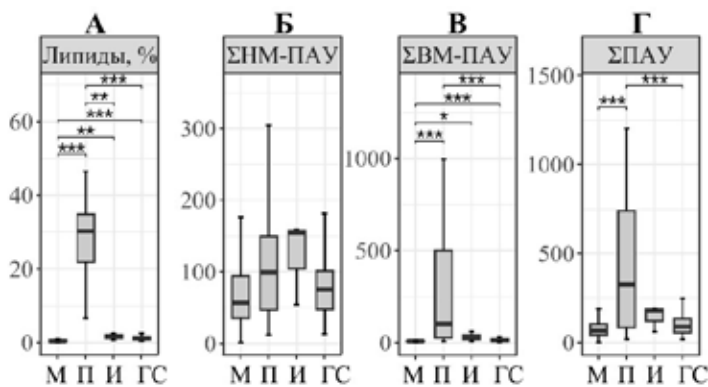


Рис. 1. Содержание липидов (%) и суммарные концентрации низкомолекулярных (Σ НМ-ПАУ = NAP + AC + FL + PHE + AN), высокомолекулярных (Σ ВМ-ПАУ = FA + PY + BaA + CHR + BbF + BkF + BaP + DBahA + BghiP) и суммарных полициклических ароматических углеводородов (Σ ПАУ = Σ НМ-ПАУ + Σ ВМ-ПАУ) в органах минтая тихоокеанского (*Gadus chalcogrammus*) (нг/г сырой массы): М – мышцы, П – печень, И – икра, ГС – гонады самцов

Fig. 1. Lipid content (%) and total concentrations of low molecular weight (Σ LMW-PAH = NAP + AC + FL + PHE + AN), high molecular weight (Σ HMW-PAH = FA + PY + BaA + CHR + BbF + BkF + BaP + DBahA + BghiP) and total polycyclic aromatic hydrocarbons (Σ PAH = Σ LMW-PAH + Σ HMW-PAH) in the organs of Alaska pollock (*Gadus chalcogrammus*) (ng/g wet weight)

НМ-ПАУ характеризуются большей способностью к распределению по организму, а также способны преодолевать его физиологические и физико-химические барьеры [1]. Таким образом, более равномерное распределение этой группы соединений по организму рыб, вероятно, связано с их меньшей молекулярной массой и большей «подвижностью».

ВМ-ПАУ считаются более опасными конгенерами, чем НМ-ПАУ. Это связано с особенностями их метаболизма, приводящего к образованию более токсичных форм, способных вызывать хронические последствия для организма [9]. В отличие от других опасных представителей антропогенных ксенобиотиков, ПАУ могут быть переработаны ферментативными системами организма [10], что может обуславливать их преимущественное накопление в печени. Кроме того, эти токсиканты относят к липофильным поллютантам [9], в связи с чем их накопление в этом «жирном» органе закономерно.

При рассмотрении качественного состава ПАУ в большинстве органов видно преобладание низкомолекулярных конгенов, за исключением печени (рис. 2).

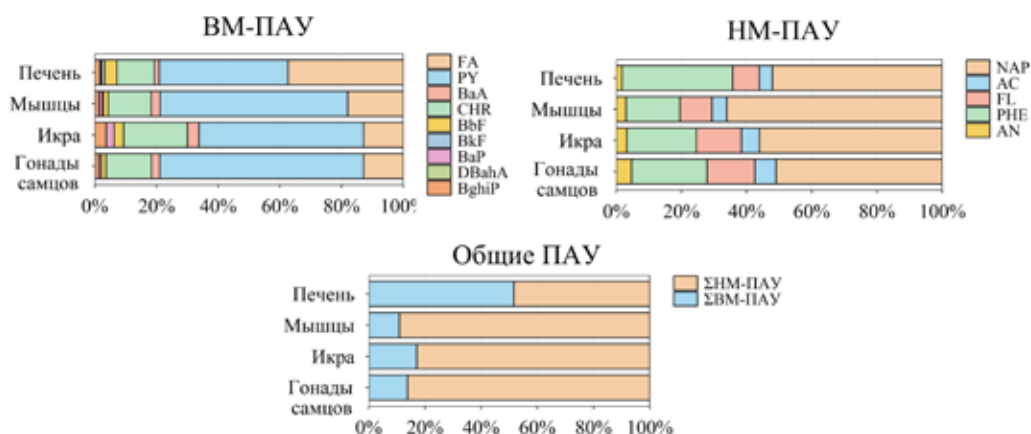


Рис. 2. Качественный состав общих, низкомолекулярных (НМ) и высокомолекулярных (ВМ) полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в органах минтая тихоокеанского: NAP – нафталин, AC – аценафтен, FL – флуорен, PHE – фенантрен, AN – антрацен, FA – флуорантен, PY – пирен, BaA – бензо[а]антрацен, CHR – хризен, BbF – бензо[б]флуорантен, BkF – бензо[к]флуорантен, BaP – бензо[а]пирен, BghiP – бензо[г,и,п]периллен, DBaA – дибензо[а,и]антрацен

Fig. 2. Qualitative composition of total, low molecular weight (LMW), and high molecular weight (HMW) polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in the organs of Alaska pollock: NAP – naphthalene, AC – acenaphthene, FL – fluorene, PHE – phenanthrene, AN – anthracene, FA – fluoranthene, PY – pyrene, BaA – benzo[a]anthracene, CHR – chrysene, BbF – benzo[b]fluoranthene, BkF – benzo[k]fluoranthene, BaP – benzo[a]pyrene, BghiP – benzo[g,h,i]perylene, DBaA – dibenzo[a,h]anthracene

При этом качественный состав внутри подгрупп (НМ-ПАУ и ВМ-ПАУ) был схож. Среди НМ-ПАУ преобладали нафталин, фенантрен и флуорен, среди ВМ-ПАУ – пирен, флуорантен и хризен (рис. 2). Сходный качественный состав в разных органах и относительная выравненность концентраций подтверждают теорию о хроническом загрязнении. Схожие данные обнаружены в 2006 г. при определении содержания ПАУ в растворенной форме в водах Амурского лимана [11]. Доли нафталина, фенантрена и флуорена среди НМ достигали 79, 21 и 8 %, а пирена и хризена (среди ВМ) – 63 и 10 % соответственно. Учитывая, что исследование воды проводилось в июне 2006 г., а отбор рыб – в октябре–ноябре 2023 г., хронический характер загрязнения в этом районе является наиболее вероятным объяснением схожести качественного состава.

Источники ПАУ. Помимо молекулярной массы, ПАУ различают в зависимости от источника поступления в окружающую среду. Например, ПАУ, образующиеся в результате сжигания или других высокотемпературных процессов, называют пирогенными; поступающие в связи с разливами нефти, продуктов ее переработки, а также естественными выходами – петрогенными; образующиеся в результате воздействия микроорганизмов – диагенетическими [1]. Первые две группы являются наиболее распространенными и в настоящее время попадают в окружающую среду преимущественно в результате антропогенной деятельности.

Для определения происхождения ПАУ используются индикаторные соотношения конгенов или их сумм [1]. Подобное разделение возможно за счет того, что часть конгенов образуется при сравнительно низкой энергии («термодинамические» изомеры), а часть – в условиях повышенной температуры (менее стабильные «кинетические» изомеры), за счет чего они отражают петрогенные и пирогенные процессы соответственно. Например, преобладание НМ-ПАУ относительно ВМ-ПАУ указывает на петрогенные источники загрязнения; 10-кратное большее содержание фенантрена относительно антрацена – на пирогенные источники. В таблице представлены результаты расчетов индикаторных значений, указывающие на смешанный характер загрязнения с преобладанием петрогенных источников.

Индикаторные соотношения полициклических ароматических углеводородов
в органах минтая тихоокеанского из Амурского лимана

Table. Diagnostic ratios of polycyclic aromatic hydrocarbons in the organs of Alaska pollock from the Amur Liman

Орган	$\frac{\text{НМ-ПАУ}}{\text{ВМ-ПАУ}}$	$\frac{\text{NAP}}{\text{PHE}}$	$\frac{\text{PHE}}{\text{AN}}$	$\frac{\text{FA}}{\text{PY}}$	$\frac{\text{FA}}{\text{FA + PY}}$	$\frac{\text{PHE/AN}}{\text{FA/PY}}$	$\frac{\text{AN}}{\text{AN + PHE}}$	$\frac{\text{BaA}}{\text{BaA + CHR}}$
Мышцы	7.93	3.70	5.62	0.28	0.21	21.68	0.15	0.17
Печень	2.08	1.01	27.46	0.77	0.40	36.89	0.04	0.14
Гонады самцов	6.50	2.37	4.95	0.19	0.16	25.77	0.17	0.15
Икра	5.48	2.40	6.48	0.23	0.18	31.83	0.14	0.15
Пирогенные	< 1	> 1	< 10	> 1	> 0.50	< 10	> 0.10	> 0.35
Петрогенные	> 1	< 1	> 10	< 1	< 0.40	> 10	< 0.10	< 0.20

Примечание. НМ-ПАУ – низкомолекулярные ПАУ, ВМ-ПАУ – высокомолекулярные ПАУ, NAP – нафталин, PHE – фенантрен, AN – антрацен, FA – флуорантен, PY – пирен, BaA – бензо[а]антрацен, CHR – хризен; серые ячейки указывают на петрогенное происхождение.

Побережье о-ва Сахалин является одним из основных нефтегазоносных районов Дальнего Востока России. В Амурском лимане расположено месторождение федерального значения с запасами (по предварительным данным) до 8.0 млн т нефти [12]. Несмотря на отсутствие разработки месторождения, нефть может просачиваться из нефтеносных пластов и таким образом попадать в окружающую среду [13]. Кроме того, в Татарском проливе, где циркулируют два разнонаправленных течения, проходящих через Амурский лиман [14], за последние 10 лет было зафиксировано два крупных инцидента вблизи порта Невельск, связанных с разливами нефти: посадка на мель танкера «Надежда» [15] и столкновение плоскодонной баржи [16]. Кроме того, в ходе спутникового мониторинга загрязнения нефтью акватории Татарского пролива в 2021 г. зафиксировано 19 разливов [17].

Таким образом, загрязнение Амурского лимана ПАУ может быть обусловлено как местными геохимическими и геологическими особенностями, которые вызывают естественное повышение уровней петрогенных ПАУ в окружающей среде и в морских организмах, так и антропогенными – за счет активного судоходства. В этом случае абиотические компоненты (вода и донные отложения) могут быть основным источником загрязняющих веществ в рыбе [18], особенно учитывая трофические особенности минтая (бентофагия) [8]. В целом сходные выводы были сделаны для рыб из оз. Чаоху (Китай) [19], где обнаружена сильная положительная корреляция между содержанием ПАУ в окружающей среде и в гидробионтах. Таким образом, вода как среда обитания может быть важным источником ПАУ для рыбы в исследуемом районе.

Нормирование ПАУ в объектах рыболовства. Одной из ключевых проблем исследования ПАУ на современном этапе развития науки является нормирование их содержания в окружающей среде, в особенности в объектах аквакультуры и других пищевых продуктах [20]. Из-за их меньшей устойчивости по сравнению с некоторыми другими ксенобиотиками содержание ПАУ в пищевых продуктах во многих странах полностью или почти не регламентировано, как, например, в Канаде и США [21].

В целом большая часть нормативного обеспечения сосредоточена на регулировании бензо[а]пирена в копченых продуктах, поскольку считается, что он в достаточной степени отражает общее содержание ПАУ в пищевых продуктах [22]. Однако исследование Европейского агентства по безопасности пищевых продуктов показало, что бензо[а]пирен составляет не более 30 % от канцерогенных ПАУ, обнаруживаемых в образцах пищи, в связи с чем с 2011 г. в странах ЕС наряду с этим соединением нормируется суммарное содержание четырех наиболее распространенных представителей канцерогенных ПАУ – бензо[а]пирена, бензо[а]антрацена, бензо[б]флуорантена и хризена (ΣПАУ₄) [20, 22]. Однако оценка проводится исключительно для копченых продуктов [23]. В целом многие страны ориентируются на стандарты Европейского Союза для доступа к местным рынкам, в связи с чем не вводят внутренние нормативы.

Другим довольно распространенным способом оценки безопасности пищевых продуктов по содержанию ПАУ является оценка их эквивалентной токсичности относительно бензо[а]пирена (TEQ_{BaP}), как наиболее токсичного конгенера. В этом случае общая сумма токсического эквивалента сравнивается с нормативом для этого соединения и делается вывод о потенциальных последствиях для здоровья человека [1].

При сравнении уровней бензо[а]пирена, ΣPAU_4 и TEQ_{BaP} в органах минтая с нормативами различных стран мира видно, что содержание бензо[а]пирена и TEQ_{BaP} в исследованных органах минтая не превышает допустимые уровни, установленные нормативами Российской Федерации, Китая и Турции, в то же время обнаруженные уровни достигают от 50 до 75 % отечественных нормативов [23–26].

Часть образцов печени характеризовалась превышением нормативов ЕС – существенно более строгих, чем российские – по BaP (29.4 %) и TEQ_{BaP} (44.4 %). Более того, уровни ПАУ фактически во всех проанализированных органах рыб превышали установленные в Европе уровни суммы четырех индикаторных ПАУ, использующиеся для оценки безопасности копченой продукции [23]. Такие результаты являются особенно настораживающими, поскольку концентрации полициклических ароматических углеводородов, как правило, не изменяются при тепловой обработке, а чаще – увеличиваются [27, 28]. Это указывает на необходимость проведения современных гигиенических и токсикологических изысканий для определения необходимости ужесточения и введения новых нормативов в РФ. В то же время подтверждается, что BaP не является адекватным индикатором присутствия ПАУ в пищевых продуктах и должен быть заменен на более комплексные индикаторы доброкачественности сырья.

Заключение и выводы

Таким образом, полициклические ароматические углеводороды обнаружены во всех образцах минтая тихоокеанского (*Gadus chalcogrammus*). Аккумуляция этих ксенобиотиков в органах рыб связана прежде всего со специфическими геохимическими условиями среды обитания – вероятным наличием естественных выходов нефти, активным судосходством, а также воздействием стока р. Амур и специфического характера течений. Полученные концентрации ПАУ соответствуют требованиям безопасности, предъявляемым в Российской Федерации к копченым продуктам, однако по сумме токсического эквивалента достигают порядка 70 % от этого значения. В то же время фактически во всех органах рыб зафиксировано несоответствие суммарных уровней бензо[а]пирена, бензо[а]антрацена, бензо[б]флуорантена и хризена требованиям ЕС, что указывает на существование потенциальных рисков для здоровья потребителей. Необходимо продолжать мониторинговые исследования ПАУ для выявления степени их распространения в объектах промышленного рыболовства и формирования доказательной базы для обновления нормативной базы Российской Федерации.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (соглашение № 23-74-10032).

Acknowledgments. The work was supported by the Russian Science Foundation (project No. 23-74-10032).

Литература

1. Donets M.M., Borovkova A.D., Belanov M.A., Boychenko T. V., Tsygankov V.Yu. Polycyclic aromatic hydrocarbons in bivalves from the Black Sea // Environmental Chemistry Letters. 2026. Vol. 24, N 1. P. 251–274.
2. Purcaro G., Moret S., Conte L.S. Overview on polycyclic aromatic hydrocarbons: Occurrence, legislation and innovative determination in foods // Talanta. 2013. Vol. 105. P. 292–305.

3. Pampanin D.M., Kemppainen E.K., Skogland K., Jørgensen K.B., Sydnes M.O. Investigation of fixed wave-length fluorescence results for biliary metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbons formed in Atlantic cod (*Gadus morhua*) // *Chemosphere*. 2016. Vol. 144. P. 1372–1376.
4. Lille-Langøy R., Jørgensen K.B., Goksøyr A., Pampanin D. M., Sydnes M.O., Karlsen O.A. Substituted Two- to Five-Ring Polycyclic Aromatic Compounds Are Potent Agonists of Atlantic Cod (*Gadus morhua*) Aryl Hydrocarbon Receptors Ahrla and Ahra2a // *Environmental Science & Technology*. 2021. Vol. 55, N 22. P. 15123–15135.
5. Статистика добычи (вылова) водных биологических ресурсов // Федеральное агентство по рыболовству. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://fish.gov.ru/otraslevaya-deyatelnost/ekonomika-otrasli/statistika-i-analitika/> (дата обращения: 25.01.2025).
6. Aydin K., Mueter F. The Bering Sea – A dynamic food web perspective // *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 2007. Vol. 54, N 23–26. P. 2501–2525.
7. Strasburger W.W., Hillgruber N., Pinchuk A.I., Mueter F.J. Feeding ecology of age-0 walleye pollock (*Gadus chalcogrammus*) and Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in the southeastern Bering Sea // *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 2014. Vol. 109. P. 172–180.
8. Орлова С.Ю., Сергеев А.А., Курносов Д.С., Бочарова Е.С., Емельянова О.Р., Чикурова Е.А., Орлов А.М., Глубоковский М.К. Популяционная структура минтая азиатской части ареала на основании данных различных генетических маркеров // *Труды ВНИРО*. 2022. Т. 189. С. 180–197.
9. Tsygankov V., Donets M.M., Gumovskaya Yu.P., Lyagusha M.S., Gumovskiy A.N., Chernyaev A.P. Methods to Determine Persistent Organic Pollutants in Various Components of Ecosystems in the Far Eastern Region // *Persistent Organic Pollutants in the Ecosystems of the North Pacific*. Springer Cham, 2023. P. 49–57.
10. Barbosa F., Rocha B.A., Souza M.C.O., Bocato M.Z., Azevedo L.F., Adeyemi J.A., Santana A., Campiglia A.D. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): Updated aspects of their determination, kinetics in the human body, and toxicity // *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*. 2023. Vol. 26, N 1. P. 28–65.
11. Honda M., Suzuki N. Toxicities of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons for Aquatic Animals // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. Vol. 17, N 4. P. 1363.
12. Чинова Т.Л., Тищенко П.Я., Кондратьева Л.М., Кудряшова Ю.В., Каваниши Т. Полициклические ароматические углеводороды в эстуарии р. Амур // *Вода: Химия и Экология*. 2013. № 10 (64). С. 14–22.
13. Амур-Лиманский участок недр федерального значения, расположенного в Амурском лимане Охотского моря – справка о месторождении // *Углеводороды.ру*. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://uglevodorody.ru/field/amur-limanskiy-uchastok-nedr-federalnogo-znacheniya-raspolozhennogo-v-amurskom-limane> (дата обращения: 09.04.2025).
14. Panieri G., Argentino C., Ramalho S. P., Vulcano F., Savini A., Fallati L., Brekke T., Galimberti G., Riva F., Balsa J., Eilertsen M.H., Stokke R., Steen I.H., Sahy D., Kalenitchenko D., Büenz S., Mattingsdal R. An Arctic natural oil seep investigated from space to the seafloor // *Science of The Total Environment*. 2024. Vol. 907. P. 167788.
15. Andreev A.G. Mesoscale Circulation of Waters in the Region of the East Sakhalin Current (the Sea of Okhotsk) // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2020. Vol. 56, N 12. P. 1628–1637.
16. Крупные разливы нефти и нефтепродуктов в России в 1994–2021 годах [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gia.ru/20210811/razliv-1745316414.html> (дата обращения: 07.04.2025).
17. На акватории терминала Бошняково в Татарском проливе завершилась операция ЛРН // Сетевое издание «КОРАБЕЛ.РУ». [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.korabel.ru/news/comments/na_akvatorii_terminala_boshnyakovo_v_tatarskom_prolyve_zavershilas_operaciya_lrn.html (дата обращения: 07.04.2025).
18. Марченко М.О., Бессонов П.С., Дубина В.А., Круглик И.А. Результаты спутникового радиолокационного мониторинга нефтяных разливов с судов в Татарском проливе Японского моря // *Научные труды Дальрыбвтуза*. 2023. Т. 65, № 3. С. 82–90.
19. Broman D., Näuf C., Lundbergh I., Zebühr Y. An in situ study on the distribution, biotransformation and flux of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in an aquatic food chain (seston – *Mytilus edulis* L. – *Somateria mollissima* L.) from the Baltic: An ecotoxicological perspective // *Environmental Toxicology and Chemistry*. 1990. Vol. 9, N 4. P. 429–442.
20. Qin N., He W., Liu W., Kong X., Xu F., Giesy J. P. Tissue distribution, bioaccumulation, and carcinogenic risk of polycyclic aromatic hydrocarbons in aquatic organisms from Lake Chaohu, China // *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 749. P. 141577.
21. Sampaio G.R., Guizzellini G.M., Da Silva S.A., De Almeida A.P., Pinaffi-Langley A.C.C., Rogero M.M., De Camargo A.C., Torres E.A.F.S. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Foods: Biological Effects, Legislation, Occurrence, Analytical Methods, and Strategies to Reduce Their Formation // *International Journal of Molecular Sciences*. 2021. Vol. 22, N 11. C. 6010.
22. Environmental Protection Agency Consumer Factsheet on: BENZO(A)PYRENE. United States Environmental Protection Agency. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://archive.epa.gov/water/archive/web/pdf/archived-consumer-factsheet-on-benzo.pdf> (дата обращения: 02.06.2025).
23. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food – Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain // *The EFSA Journal*. 2008. Vol. 724. P. 1–114.
24. Commission Regulation (EU) 2023/915 of 25 April 2023 on maximum levels for certain contaminants in food and repealing Regulation (EC) No 1881/2006 (Text with EEA relevance) // *Official Journal of the European Union*. 2023. Vol. 50 119/103. P. 103–157. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/915/oj/eng> (дата обращения: 04.02.2026).

25. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» // Комиссия Таможенного союза. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=9&documentId=479846#h1662> (дата обращения: 04.02.2026).

26. Стандарт КНР GB 2762-2022 МДУ загрязняющих веществ в пищевой продукции // Федеральная служба по ветеринарному и фитосанитарному надзору (Россельхознадзор). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://fsvps.gov.ru/files/standart-kr-gb-2762-2022-mdu-zagraznjajushhih-veshhestv-v-pishhevoj-produkcii/> (дата обращения: 04.02.2026).

27. Sahin S., Ulusoy H.I., Alemdar S., Erdogan S., Agaoglu S. The Presence of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Grilled Beef, Chicken and Fish by Considering Dietary Exposure and Risk Assessment // Food Science of Animal Resources. 2020. Vol. 40, N 5. P. 675–688.

28. Sharifiarab G., Ahmadi M., Shariatifar N., Ariaii P. Investigating the effect of type of fish and different cooking methods on the residual amount of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in some Iranian fish: A health risk assessment // Food Chemistry: X. 2023. Vol. 19. P. 100789.

References

1. Donets, M.M.; Borovkova, A.D.; Belanov, M.A.; Boychenko, T.V.; Tsygankov, V.Yu. Polycyclic aromatic hydrocarbons in bivalves from the Black Sea. *Environmental Chemistry Letters*. 2026;(24(1)):251–274.
2. Purcaro, G.; Moret, S.; Conte, L.S. Overview on polycyclic aromatic hydrocarbons: Occurrence, legislation and innovative determination in foods. *Talanta*. 2013;(105):292–305.
3. Pampanin, D.M.; Kempainen, E.K.; Skogland, K.; Jørgensen, K.B.; Sydnes, M.O. Investigation of fixed wavelength fluorescence results for biliary metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbons formed in Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Chemosphere*. 2016;(144):1372–1376.
4. Lille-Langøy, R.; Jørgensen, K.B.; Goksøyr, A.; Pampanin, D.M.; Sydnes, M.O.; Karlsen, O.A. Substituted Two- to Five-Ring Polycyclic Aromatic Compounds Are Potent Agonists of Atlantic Cod (*Gadus morhua*) Aryl Hydrocarbon Receptors Ahrla and Ahrla2a. *Environmental Science & Technology*. 2021;55(22):15123–15135.
5. Federal Agency for Fishery. Statistics of catch of aquatic biological resources. Available online: <https://fish.gov.ru/otraslevaya-deyatelnost/ekonomika-otrasli/statistika-i-analitika/> (In Russian). [Accessed: 25.01.2025].
6. Aydin, K.; Mueter, F. The Bering Sea – A dynamic food web perspective. *Deep Sea Research. Part II: Topical Studies in Oceanography*. 2007;54(23–26):2501–2525.
7. Strasburger, W.W.; Hillgruber, N.; Pinchuk, A.I.; Mueter, F.J. Feeding ecology of age-0 walleye pollock (*Gadus chalcogrammus*) and Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in the southeastern Bering Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 2014;(109):172–180.
8. Orlova, S.Yu.; Sergeev, A.A.; Kurnosov, D.S.; Bocharova, E.S.; Emelyanova, O.R.; Chikurova, E.A.; Orlov, A.M.; Glubokovsky, M.K. Population structure of walleye pollock in the Asian part of the range based on various genetic markers. *Trudy VNIRO*. 2022;(189): 180–197. (In Russian).
9. Tsygankov, V., Donets, M.M., Gumovskaya, Yu.P., Lyagusha, M.S., Gumovskiy, A.N., Chernyaev, A.P. Methods to Determine Persistent Organic Pollutants in Various Components of Ecosystems in the Far Eastern Region. In *Persistent Organic Pollutants in the Ecosystems of the North Pacific*: Springer Cham, 2023:49–57.
10. Barbosa, F.; Rocha, B.A.; Souza, M.C.O.; Bocato, M.Z.; Azevedo, L.F.; Adeyemi, J.A.; Santana, A.; Campiglia, A.D. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): Updated aspects of their determination, kinetics in the human body, and toxicity. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*. 2023;(26(1)):28–65.
11. Honda, M.; Suzuki, N. Toxicities of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons for Aquatic Animals. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(4): 1363.
12. Chizhova, T.L.; Tishchenko, P.Ya.; Kondratyeva, L.M.; Kudryashova, Yu.V.; Kavanishi, T. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the Amur River Estuary. *Water: Chemistry and Ecology*. 2013;10 (64):14–22. (In Russian)
13. Amur-Limansky subsoil plot of federal significance, located in the Amur Liman of the Sea of Okhotsk – field reference. Available online: <https://uglevodorody.ru/field/amur-limanskiy-uchastok-nedr-federalnogo-znacheniya-raspolzhenogo-v-amurskom-limane> (In Russian). [Accessed: 09.04.2025].
14. Panieri, G.; Argentino, C.; Ramalho, S.P.; Vulcano, F.; Savini, A.; Fallati, L.; Brekke, T.; Galimberti, G.; Riva, F.; Balsa, J.; Eilertsen, M.H.; Stokke, R.; Steen, I.H.; Sahy, D.; Kalenitchenko, D.; Büenz, S.; Mattingsdal, R. An Arctic natural oil seep investigated from space to the seafloor. *Science of The Total Environment*. 2024;(907):167788.
15. Andreev, A.G. Mesoscale Circulation of Waters in the Region of the East Sakhalin Current (the Sea of Okhotsk). *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2020;56(12):1628–1637.
16. Major oil and petroleum product spills in Russia in 1994–2021. RIA Novosti. Available online: <https://ria.ru/20210811/razliv-1745316414.html> (In Russian). [Accessed: 07.04.2025].
17. The LRN operation on the water area of the Boshnyakovo terminal in the Tatar Strait has been completed. Available online: https://www.korabel.ru/news/comments/na_akvatorii_terminala_boshnyakovo_v_tatarskom_prolive_zavershilas_operaciya_lrn.html (In Russian). [Accessed: 07.04.2025].
18. Marchenko, M.O.; Bessonov, R.S.; Dubina, V.A.; Kruglik, I.A. Results of satellite radar monitoring of oil spills from ships in the Tatar Strait of the Sea of Japan. *Nauchnye Trudy Dalrybvtyuza*. 2023;65(3):82–90. (In Russian).

19. Broman, D.; Näuf, C.; Lundbergh, I.; Zebühr, Y. An in situ study on the distribution, biotransformation and flux of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in an aquatic food chain (seston – *Mytilus edulis* L. – *Somateria mollissima* L.) from the Baltic: An ecotoxicological perspective. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 1990;9(4):429–442.
20. Qin, N.; He, W.; Liu, W.; Kong, X.; Xu, F.; Giesy, J.P. Tissue distribution, bioaccumulation, and carcinogenic risk of polycyclic aromatic hydrocarbons in aquatic organisms from Lake Chaohu, China. *Science of The Total Environment*. 2020;(749):141577.
21. Sampaio, G.R.; Guizzellini, G.M.; Da Silva, S.A.; De Almeida, A.P.; Pinaffi-Langley, A.C.C.; Rogero, M.M.; De Camargo, A.C.; Torres, E.A.F.S. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Foods: Biological Effects, Legislation, Occurrence, Analytical Methods, and Strategies to Reduce Their Formation. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021;22(11):6010.
22. United States Environmental Protection Agency. Consumer Factsheet on: BENZO(A)PYRENE. Available online: <https://archive.epa.gov/water/archive/web/pdf/archived-consumer-factsheet-on-benzo.pdf> [Accessed: 02.06.2025].
23. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food – Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. The EFSA Journal. 2008;(724):1–114.
24. Commission Regulation (EU) 2023/915 of 25 April 2023 on maximum levels for certain contaminants in food and repealing Regulation (EC) No 1881/2006 (Text with EEA relevance). Official Journal of the European Union. 2023, L 119/103, 103–157. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/915/oj/eng> [Accessed: 04.02.2026].
25. Technical Regulations of the Customs Union TR CU 021/2011 “On food safety”. Commission of the Customs Union. (In Russian). Available online: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=9&documentId=479846#h1662> [Accessed: 04.02.2026].
26. PRC Standard GB 2762-2022 Maximum levels of contaminants in food. Federal Service for Veterinary and Phytosanitary Surveillance (Rosselkhoznadzor). (In Russian). Available online: <https://fsvps.gov.ru/files/standart-knr-gb-2762-2022-mdu-zagraznjajushhih-veshhestv-v-pishhevoj-produkcii/> [Accessed: 04.02.2026].
27. Sahin, S.; Ulusoy, H.I.; Alemdar, S.; Erdogan, S.; Agaoglu, S. The Presence of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Grilled Beef, Chicken and Fish by Considering Dietary Exposure and Risk Assessment. *Food Science of Animal Resources*. 2020;40(5):675–688.
28. Sharifiarab, G.; Ahmadi, M.; Shariatifar, N.; Ariaii, P. Investigating the effect of type of fish and different cooking methods on the residual amount of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in some Iranian fish: A health risk assessment. *Food Chemistry: X*. 2023;(19):100789.

Статья поступила в редакцию 16.02.2026; одобрена после рецензирования 12.03.2026; принята к публикации 12.03.2026.

The article was submitted 16.02.2026; approved after reviewing 12.03.2026; accepted for publication 12.03.2026.



Анализ статистических характеристик рядов расходов воды на реках бассейна Японского моря

Сергей Юрьевич ЛУПАКОВ
кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник
rbir@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5804-2604>

Андрей Николаевич БУГАЕЦ
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник
andreybugaets@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2437-6155>

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия

Аннотация. Для 15 водосборов, расположенных в прибрежной зоне Японского моря, выполнена оценка изменения статистических характеристик рядов средних и максимальных годовых расходов воды для базового (1960–1990 гг.) и современного (1991–2023 гг.) периодов. Анализ характеристик эмпирических кривых показал, что в течение последние 60 лет наблюдается увеличение среднегодовых и максимальных годовых расходов в среднем на 20–25 %. Диапазон изменения значений коэффициентов вариации базового и современного периодов составляет 5–10 %. Значения коэффициента асимметрии в среднем увеличились на 40 %. Для аппроксимации эмпирических кривых использованы логнормальное, функционально-нормальное СЗ и распределение Пирсона III типа. Для оценки сходимости использованы три критерия, основанные на численных характеристиках аналитических и эмпирических кривых. Показано, что для аппроксимации рядов среднегодовых расходов воды могут быть использованы все три аналитические кривые. Для рядов максимальных годовых расходов предпочтительными являются логнормальная и кривая СЗ. По сравнению с базовым периодом значения среднегодовых и максимальных за год расходов воды 1 %-ной обеспеченности, в целом возросли на 15 % и 20 % соответственно. Изменения статистических характеристик стока за последние 30 лет указывают на общее повышение водности (среднегодового стока) и увеличение максимальных значений паводковых расходов воды, т.е. изменения гидрологического режима. На основе полученных результатов сделан вывод о необходимости их учета в практике регионального использования нормативной базы по определению основных расчетных гидрологических характеристик.

Ключевые слова: кривые обеспеченности, статистические характеристики, расходы воды, паводки

Для цитирования: Лупаков С.Ю., Бугаец А.Н. Анализ статистических характеристик рядов расходов воды на реках бассейна Японского моря // Тихоокеанская география. 2026. № 3. С. 91–100. https://doi.org/10.35735/26870509_2026_27_8

Analysis of statistical characteristics of rivers discharge series, the Sea of Japan tributaries case

Sergei Yu. LUPAKOV

Candidate of Geographical Sciences, Leading research associate
rbir@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5804-2604>

Andrey N. BUGAETS

Candidate of Geographical Sciences, Leading research associate
andreybugaets@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2437-6155>

Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

Abstract. According to the current Russian legislation, likelihood of specific flow rates, which is crucial for infrastructure design, flood insurance, and environmental management are calculated based on flow duration curves and specific event magnitudes, such as 100-year flood. In conditions of climate stationarity solution of this task generally does not cause difficulties and basically limited by quality and length of observed river discharge series. Climate changes impact complicates obtaining reliable estimates of runoff statistical characteristics and erroneously shifts the shape of flow duration curves. Especially, it is the case of the Pacific Russia region, which is well-known for its high spatio-temporal variability of the main hydrological processes and occurrence of flash floods. For filling gaps in a regional hydrology, we assessed changes in the statistic characteristics (mean, variation coefficient and skewness) of average and maximum annual water discharge series for the base period before significant climate changes (1960–1990) and during modern warming (1991–2023). Study objects are 15 catchments located in the coastal zone of the Sea of Japan. Empirical flow duration curves were constructed for average and maximum annual water discharge series. Runoff observations data fitting was performed using traditional in hydrology Pearson type III distribution, as well as the lognormal and version if functionally normal C3 distributions. An analysis of the empirical curves showed an increase in average and maximum annual discharges by an average of 20–25% over the past 60 years. The variation coefficient for series from different hydrological stations as a rule varies in the range of 5–10%, and the change in skewness, depending on the catchment, ranges from an 80% decrease to an increase of 2–4 times. Using three goodness-of-fit criteria, it was demonstrated that the Pearson type III curve can be used to fit average annual discharge curves. For water discharge series with severe rainfall floods, the lognormal and C3 curves are preferable. Empirical curves following the logistic law (S-shaped distribution) are less amenable to fit by the applied distributions. An analysis of calculated water discharge of certain probability confirmed regional conception of the hydrological regime instability. Most catchments recorded increases in mean annual and maximum annual water discharge with a probability of occurrence of 1%, 15% and 20%, respectively. Based on the obtained results, a conclusion was made about the need to consider regional manifestations of climate changes to get reliable values of discharges with varying probability for the few decades in advance and to reduce the risks to the sustainable development of Primorsky Krai and Pacific Russia as a whole.

Keywords: flow duration curve, statistical characteristics, water discharge, rainfall flood

For citation: Lupakov S.Yu., Bugaets A.N. Analysis of statistical characteristics of rivers discharge series, the Sea of Japan tributaries case. *Pacific Geography*. 2026;(3):91–100. (In Russ.). https://doi.org/10.35735/26870509_2026_27_8

Введение

Данные гидрологических наблюдений, их анализ и обобщение представляют собой основу нормативной базы для проектирования инженерных объектов и территории-

ально-экономического планирования в целом [1–3]. Методическая база, необходимая для прогноза функционирования гидрологических систем в условиях нестационарного климата и антропогенного преобразования ландшафтов, на настоящий момент находится в стадии разработки [1].

Интенсивное глобальное потепление, наблюдающееся последние 30–50 лет, коснулось территории России в значительно большей степени, чем других регионов [4]. Согласно оценкам Росгидромета [5] на территории Дальнего Востока России потепление климата происходит примерно в 2 раза интенсивнее, чем в среднем по земному шару [2, 3]. Несмотря на имеющиеся исследования, в частности о скорости потепления акватории Японского моря [6], увеличении водности рек в месяцы холодного периода и перераспределении стока весеннего половодья [7], появления крайне редких гидрологических событий в осенние месяцы [8], а также изменения долей генетических компонентов стока за исторический период [9], полной и надежной оценки влияния климатических изменений на водные объекты в Приморском крае пока не существует. Относительно согласованы выводы только о нелинейном отклике речных бассейнов на потенциальные изменения в режиме увлажнения территории [10, 11].

Согласно действующему нормативу в области гидрологических расчетов (СП 529.1325800.2023¹), методической базой определения расчетных характеристик (норма, коэффициенты вариации и асимметрии) и обеспеченных значений расходов воды, определяющих устойчивость работы существующих или проектируемых гидротехнических сооружений, являются аналитические кривые обеспеченности Пирсона III типа, Крицкого-Менкеля и логнормальная. В ряде исследований показано, что для рек Приморского края применение логнормального и функционально-нормального распределения С3 может обеспечить надежные статистические оценки максимального стока [12, 13].

В данном исследовании для проверки гипотезы о происходящем изменении гидрологического режима под влиянием региональных проявлений глобального изменения климата выполнено сравнение показателей изменчивости характеристик стока за базовый (1960–1990 гг.) и современный (1991–2023 гг.) периоды. Выполнена оценка изменений значений параметров эмпирических и аналитических кривых распределения.

Материалы и методы

Объектами исследования являются 15 речных бассейнов, расположенных в Приморском крае, относящихся к рекам побережья Японского моря (рис. 1). Площадь водосборов составляет 157–894 км², рельеф преимущественно среднегорный (табл. 1).

Особенности климатических условий определяются муссонным характером циркуляции атмосферы, которая развивается на границе контакта Азиатского материка и Тихого океана. Динамика увлажнения и гидрологический режим рек связаны с климатическими условиями и особенностями орографии исследуемой территории. За год в среднем выпадает 700–800 мм осадков (в отдельные годы до 1200–1400 мм), большая часть которых приурочена к теплему периоду года. Суточные максимумы дождей составляют 150–250 мм. Гидрологический режим территории относится к дальневосточному типу. Основной фазой гидрологического режима являются летне-осенние дождевые паводки.

Для целей исследования использованы данные суточных наблюдений на гидрологических постах сети мониторинга Приморского УГМС (рис. 1). Длина рядов расходов воды варьируется от 60 до 86 лет (табл. 1). Из рядов наблюдений формировались выборки средних и максимальных годовых значений, для которых строились эмпирические и ана-

¹ СП 529.1325800.2023 Определение основных гидрологических характеристик: Свод правил. Издание официальное: утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 11 сентября 2023 г. № 654/пр: введен в действие 12 октября 2023 г., Москва, 2023. 103 с.

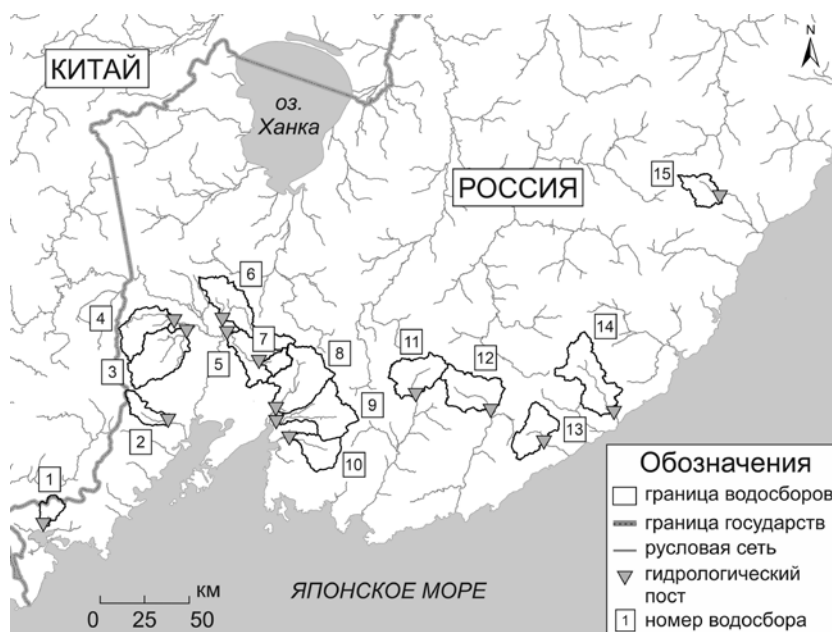


Рис. 1. Картограмма исследуемого района. Номерам соответствуют водосборы из табл. 1

Fig. 1. Basemap of the research area. Numbers correspond to the catchments from Table 1

литические кривые распределения. Общий период наличия данных (1960–2023 гг.) был разбит на базовый (1960–1990) и современный (1991–2023 гг.) периоды. Граница раздела соответствует оценкам начала интенсивного потепления в бассейне р. Амур в конце 1980-х–начале 1990-х гг. [14, 15]. При этом удовлетворяются требования о необходимой длине ряда для построения кривых обеспеченности (СП 529.1325800.2023) и величине климатической нормы ВМО [16] в 30 лет.

Таблица 1

Основные сведения об объектах исследования

Table 1. The main information about catchments

№	Река–пост	Период наличия данных (количество лет)	S, км ²	H, м
1	Цукановка–Краскино	1951–1956, 1958–1961, 1963–2023 (71)	170	188
2	Амба–Занадворовка	1961–1998, 2000–2023 (62)	242	312
3	Борисовка–Корсаковка	1959–2023 (65)	756	315
4	Казачка–Пуциловка	1951–2023 (72)	519	299
5	Комаровка–Сахарный Завод	1940–1942, 1948–1949, 1951–1954, 1956–1958, 1961–2023 (75)	616	222
6	Раковка–Опытный	1956–1957, 1959–2023 (67)	755	128
7	Комаровка–Центральный	1954–1955, 1957–2023 (69)	157	317
8	Артемовка–Штыково	1936–1939, 1941–1980, 1982–2023 (86)	894	328
9	Шкотовка–Шкотово	1934, 1937–1943, 1945, 1949–2023 (84)	706	454
10	Суходол–Романовка	1958–2023 (66)	443	366
11	Партизанская–Молчановка	1954–1992, 1996–2023 (67)	549	672
12	Лазовка–Лазо	1958–1961, 1963–1988, 1990–1992, 1997–2023 (60)	671	700
13	Черная–Черноручье	1960–2004, 2008–2023 (61)	475	388
14	Маргаритовка–Маргаритово	1951–1952, 1956–2019, 2021–2023 (69)	763	458
15	Рудная–Дальнегорск	1947–2023 (76)	293	604

Примечание. S – площадь водосбора, H – средняя высота водосбора

Оценка эмпирической вероятности расходов воды выполнена с помощью формулы $P = m/(n+1)$ [17]. Для сглаживания и экстраполяции эмпирических кривых использовано три вида распределений – Пирсона III типа [17], логнормальное и функционально-нормальное распределение СЗ [13]. Распределение Пирсона III типа представляет собой дискретное биномиальное распределение непрерывных случайных величин с тремя параметрами [17]. Логнормальное распределение представляет собой непрерывное распределение случайной величины, логарифм которой подчиняется нормальному распределению. Трехпараметрическое СЗ распределение предполагает преобразование исходной величины (x) с помощью нормализующей функции $z = 0.5 (x^n + 1) \ln x$ [13].

Для оценки соответствия эмпирических и аналитических кривых использовались три критерия согласия: надежность (w), точность (s) и прочность (d) [18]. Под надежностью w понимается величина суммарного относительного расхождения эмпирической и аналитической кривой по вероятности

$$w = \sum_{i=1}^n \left(\frac{|p^* - p^{**}|}{p_b^* - p_a^*} \right)_i, \tag{1}$$

где $p^* = m/n$ – эмпирическая вероятность, p^{**} – аналитическая вероятность членов ряда, m и n – ранг i -го значения и общий объем выборки, p_a^* и p_b^* – границы доверительного интервала для вероятности p^* при заданном уровне значимости. Точность (s) – это мера сходимости по абсолютной величине, описывается среднеквадратическим отклонением равнообеспеченных квантилей распределений эмпирической (k_p^*) и аналитической (k_p^{**}) кривых

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (k_p^* - k_p^{**})_i^2}. \tag{2}$$

Мера прочности d равна отношению 1%-ного расчетного расхода воды к максимальному значению в ряду измеренных [18] и характеризует «запас прочности инженерного решения» [19].

Параметры кривой Пирсона III типа оценивались с помощью методов моментов [17], логнормальной и СЗ – подгонкой аналитических кривых к эмпирическим точкам на основе минимизации критериев w и s [19].

На основе рекомендаций СП 529.1325800.2023 выполнена оценка статистической однородности рядов расходов с помощью критериев Фишера и Стьюдента. Сравнивались выборочные дисперсии и средние значения рядов расходов воды за базовый (1960–1990) и современный (1991–2023 гг.) периоды с 5 %-ным уровнем значимости.

Результаты и их обсуждение

Согласно критериям Фишера или Стьюдента (табл. 2), для 80 % исследуемых водосборов выявлена неоднородность в рядах расходов воды. Использование только од-

Таблица 2

Результаты оценки однородности рядов средних (Qavg) и максимальных (Qmax) годовых расходов воды

Table 2. Determination of the significance of the difference in series of annual average (Qavg) and maximal discharges (Qmax)

Характеристика	Пост														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Qavg	<i>t</i>	<i>t</i>	<i>t</i>				<i>t</i>		<i>t, f</i>	<i>t, f</i>		<i>t</i>		<i>t</i>	
Qmax		<i>t, f</i>	<i>t, f</i>		<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>t</i>	<i>t, f</i>	<i>t, f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>		<i>f</i>	

Примечание. *t* – наличие тренда по критерию Стьюдента, *f* – по критерию Фишера, пропуск – отсутствие тренда, номерам постов соответствуют водосборы из табл. 1.

ного критерия недостаточно для объективной оценки наличия однородности в ряду – наличие тренда, определенного с помощью критерия Стьюдента, необязательно подтверждается критерием Фишера и наоборот.

Полученные значения критериев согласия эмпирических и аналитических кривых представлены на рис. 2. Общепринятой классификации для значений критериев согласия на данный момент не предложено. Считается, что аналитическая кривая наилучшим образом аппроксимирует точки наблюдений при минимальных значениях критериев w , s и максимальных d .

В целом аналитические кривые хорошо описывают эмпирические распределения среднегодовых расходов. Диапазон значений критерия прочности d составляет 104–162 %, различия в его значениях между аналитическими кривыми небольшие (в среднем 10–15 %). В большинстве случаев значения критериев надежности w и точности s минимальны для кривых среднегодовых величин при использовании кривой Пирсона III типа.

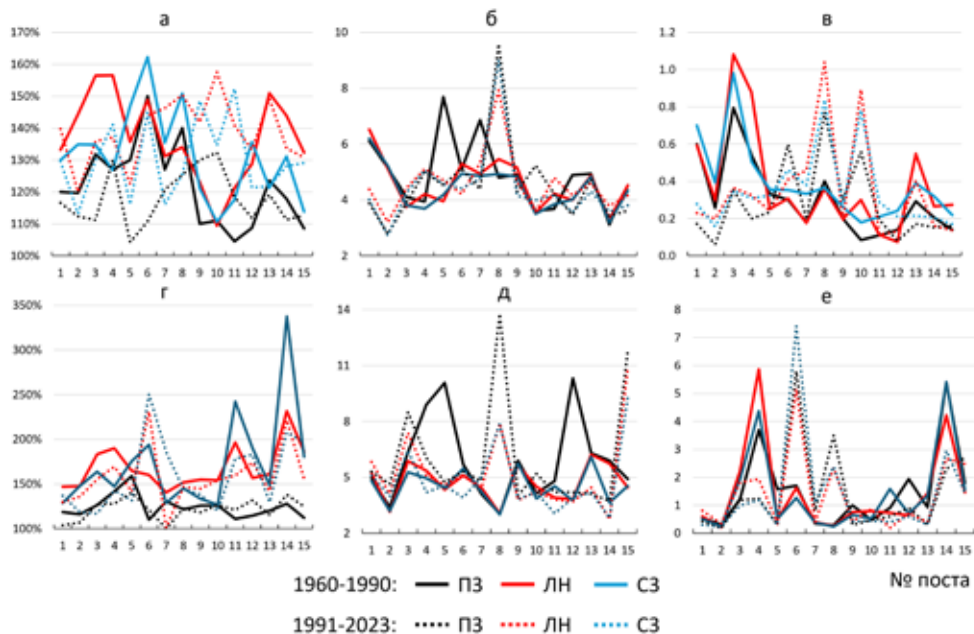


Рис. 2. Значения критериев прочности (а, г), надежности (б, д), точности (в, е), полученные при сравнении аналитических и эмпирических кривых среднегодовых (а, б, в) и максимальных годовых (г, д, е) расходов воды за базовый и современный периоды при использовании кривых: ПЗ – Пирсона III типа, ЛН – логнормальной, СЗ – распределения СЗ. Номерам постов соответствуют водосборы из табл. 1

Fig. 2. Compliance criteria values of annual average (а, б, в) and maximal (г, д, е) discharges for base and modern periods applying ПЗ – Pearson III type, ЛН – lognormal, СЗ – C3 distribution. Numbers correspond to the catchments from Table 1

При аппроксимации годовых максимумов расходов воды минимальные значения критериев w и s , соответствующие наименьшему расхождению по вероятности и абсолютной величине, получены преимущественно для логнормального распределения и СЗ. При использовании кривой Пирсона III типа получены менее надежные результаты по сравнению с альтернативными методами. Наличие характерных «ступенек» на эмпирических кривых (см. рис. 2, б) указывает на неполноту эмпирических данных особенно в области редкой повторяемости, что приводит к увеличению значений критериев w и s . Подобное поведение на графиках эмпирической обеспеченности объясняется неравноценностью информации об эмпирических точках на концах распределения [20], а также сменой доминирующего способа формирования стока [21].

В сравнении с 1960–1990 гг. средние и годовые максимумы расходов воды за период 1991–2023 гг. повысились на 25 % (рис. 3, а, б). Изменения значений коэффициента вариации C_v в среднем составляют 5–10 % (рис. 3, в, г), коэффициента асимметрии C_s – в среднем 40 % (рис. 3, д, е). Это позволяет сделать вывод, что трансформация гидрологического режима связана как общим повышением водности, так и увеличением частоты и пиковых значений гидрографов паводков [22] с соответствующим сдвигом распределения величин расходов влево. По правилу двух сигм статистически значимые различия оценок среднего наблюдаются на 47 % исследуемых водосборов, C_v – на 10 %.

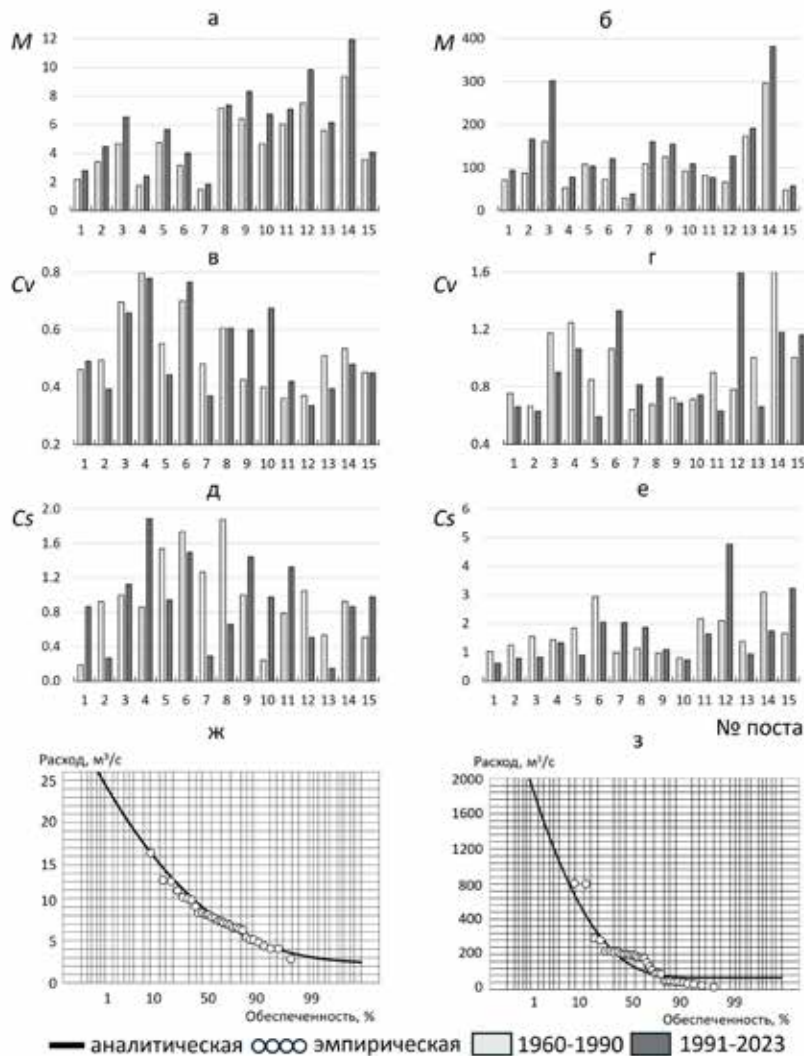


Рис. 3. Среднее (M), коэффициенты вариации (C_v) и асимметрии (C_s) рядов среднегодовых (а, в, д) и максимальных годовых расходов воды (б, г, е), а также эмпирические и кривые Пирсона III типа для среднегодовых расходов воды р. Лазовка за период 1960–1990 гг. (ж) и максимальных годовых расходов р. Артемовка – с. Штыково за период 1991–2023 гг. (е) соответственно. Номерам постов соответствуют водосборы из табл. 1

Fig. 3. Mean (M), variation coefficient (C_v) and skewness (C_s) of average annual (а, в, д) and maximal annual (б, г, е) discharges, empirical and Pearson III type probability curves of average annual discharges of Lazovka River for 1960–1990 гг. (ж) and maximal annual discharges of Artemovka River for 1991–2023 гг. (е). Numbers correspond to the catchments from Table 1

Расчетные значения среднегодовых расходов воды 1 %-ной обеспеченности за период 1991–2023 гг. по отношению к 1960–1990 гг. увеличились практически на всех исследуемых реках в среднем на 15 %, небольшое снижение в диапазоне 10–20 % относится к рекам Комаровка, Артемовка и Черная. Расчетные расходы 50 %-ной обеспеченности увеличились на всех водосборах на 5–35 %, в среднем повышение составило 20 %. Схожий результат получен при анализе максимальных годовых значений. Расчетные значения 1 %-ной обеспеченности за период 1991–2023 гг. по отношению к 1960–1990 гг. увеличились в среднем на 20 %, за исключением рек Комаровка, Партизанская, Черная (№ 7, 11, 13 табл. 1, рис. 1), для которых выявлено снижение на ~70 %. Расчетные максимальные годовые расходы 50 %-ной обеспеченности увеличились на всех реках на 4–33 %.

На основе полученных результатов для объектов исследования рекомендуется использовать кривую Пирсона III типа для аппроксимации распределения среднегодовых расходов воды (рис. 3, ж). Логнормальная кривая и распределение С3 лучше подходят для описания паводкового стока исследуемых рек благодаря возможности воспроизведения резкого увеличения расходов в зоне обеспеченности ниже 10 %.

Формирование катастрофических паводков редкой повторяемости на реках Приморья, как правило, происходит при сочетании условий выпадения кратковременных ливневых осадков 150–200 мм и переувлажнения водосборов муссонными дождями [23, 24]. Подобные редкие события на эмпирических кривых могут проявляться в виде резких скачков в зоне редкой повторяемости (рис. 3, е), которые лучше описываются логнормальным и С3 распределением, что объясняется их характерными свойствами – отличной от нуля модой в зоне обеспеченности средних паводков и относительно медленным снижением вероятности наиболее экстремальных событий [25].

Заключение и выводы

Полученные результаты свидетельствуют о существенном изменении в современном режиме формирования стока на водосборах бассейна Японского моря. За последние 30 лет по сравнению с базовым периодом (1960–1990 гг.) выявлено увеличение значений средних и годовых максимумов расходов воды примерно на 20 %, при этом коэффициенты вариации изменились незначительно, а коэффициенты асимметрии в среднем на 40 %. Расчетные значения максимальных годовых расходов воды 1 %-ной обеспеченности увеличились на 20 %, максимальные годовые расходы 50 %-ной обеспеченности увеличились на всех водосборах на 4–33 % по сравнению с базовым периодом.

Значения расходов воды редкой повторяемости, определенные разными методами, существенно отличаются. Кривая Пирсона III типа хорошо аппроксимирует эмпирическую кривую обеспеченности среднегодовых расходов. Максимальные годовые расходы более эффективно аппроксимируются логнормальной и С3 кривыми. Полученные результаты следует учитывать в региональной практике по определению основных расчетных гидрологических характеристик и корректировке нормативной базы.

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы государственного задания ТИГ ДВО РАН FWMW-2025–0004 «Условия и механизмы формирования экстремальных дождевых паводков на реках юга Дальнего Востока России».

Acknowledgments. The study was supported by the RF Ministry of Science and Education under State Assignment to the Pacific Geographical Institute FEB RAS, FWMW-2025-0004 «Conditions and generation mechanisms of extreme rain floods on the southern Russian Far East rivers».

Литература

1. Болгов М.В., Лобанова А.Г. Инженерно-гидрологические расчеты и климатические изменения: как развивать новые подходы? // Метеорология и гидрология. 2025. № 4. С. 25–36.

2. Балонишникова Ж.А., Еремеева А.О. Водобеспеченность Российской Федерации в условиях изменения климата // *Метеорология и гидрология*. 2025. № 4. С. 87–97.
3. Журавлев С.А., Бузмаков С.В., Юхно А.В., Георгиевский В.Ю., Грек Е.А., Мещерин В.А. Гидрологические особенности и причины наводнения 2024 года на реке Урал в Оренбургской области // *Метеорология и гидрология*. 2025. № 4. С. 98–108.
4. Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2021; 2391 p.
5. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Санкт-Петербург: Научное издание, 2022. 676 с.
6. Ростов И.Д., Рудых Н.И., Ростов В.И., Воронцов А.А. Проявления глобальных климатических изменений в прибрежных водах северной части Японского моря // *Вестник ДВО РАН*. 2016. № 5. С. 100–112.
7. Gartsman B.I., Lupakov S.Yu. Changes in the maximum runoff regime in the Ussuri River basin: the methodological aspects of forecasting based on dynamic-stochastic simulation // *Water resources*. 2018. Vol. 45, Suppl. 1. P. S79–S89.
8. Гарцман Б.И., Мезенцева Л.И., Меновщикова Т.С., Попова Н.Ю., Соколов О.В. Условия формирования экстремально высокой водности рек Приморья в осенне-зимний период 2012 г. // *Метеорология и гидрология*. 2014. № 4. С. 77–92.
9. Макагонова М.А. Влагооборот в малых речных бассейнах юга Дальнего Востока: региональная оценка на основе динамического моделирования: дис. ... канд. геогр. наук. Иркутск, 2009. 182 с.
10. Гарцман Б.И., Лупаков С.Ю. Оценка изменений режима паводкового стока реки Усури с учетом современных климатических проекций до конца XXI века // *Гидросфера. Опасные процессы и явления*. 2019. № 1. С. 52–70.
11. Гельфан А.Н., Калутин А.С., Мотовилов Ю.Г. Оценка изменений водного режима реки Амур в XXI веке при двух способах задания климатических проекций в модели формирования речного стока // *Водные ресурсы*. 2018. Т. 45. № 3. С. 223–234.
12. Губарева Т.С. Пространственные закономерности распределения паводков рек умеренного пояса Северного полушария // *Известия РАН. Серия географическая*. 2011. № 2. С. 65–77.
13. Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 365 с.
14. Мещенина Л.А., Новороцкий П.В., Пономарев В.И. Климатические изменения и колебания стока Амура // *Вестник ДВО РАН*. 2007. № 4. С. 44–54.
15. Петров Е.С., Новороцкий П.В., Леншин В.Т. Климат Хабаровского края и Еврейской Автономной области. Владивосток–Хабаровск: Дальнаука, 2000. 174 с.
16. Руководство по климатологической практике. Женева: ВМО, 2018. № 100, 169 с.
17. Шелутко В.А. Техника статистических вычислений в гидрологии Л.: ЛПИ, 1977. 175 с.
18. Гарцман Б.И., Степанова М.В. Особенности гидрологических расчетов максимального стока на Дальнем Востоке // *География и природные ресурсы*. 1996. № 4. С. 103–110.
19. Губарева Т.С. Максимальный сток рек в бассейне Амура: закономерности формирования и методы расчетов: дис. ... канд. геогр. наук. Иркутск, 2004. 143 с.
20. Сотникова Л.Ф. Опыт применения усеченного гамма-распределения к расчету максимального стока рек // *Проблемы регулирования и использования водных ресурсов*. М.: Наука, 1973. С. 56–85.
21. Гарцман Б.И. Дождевые наводнения на реках юга Дальнего Востока: методы расчетов, прогнозов, оценки риска. Владивосток: Дальнаука, 2008. 223 с.
22. Гарцман Б.И., Лупаков С.Ю. Влияние изменений климата на максимальный сток в бассейне Амура: оценка на основе динамико-стохастического моделирования // *Водные ресурсы*. 2017. Т. 44, № 5. С. 1–11.
23. Gartsman B.I. A FCM runoff model for small rivers with rainfall recharge. 1. The concept and algorithms // *Water resources*. 2023. Vol. 50. N 4. P. 491–502.
24. Bugaets A.N., Gartsman B.I., Gonchukov L.V., Lupakov S.Y., Shamov V.V., Pshenichnikova N.F., Tereshkina A.A. Modeling the hydrological regime of small testbed catchments based on field observations: a case study of the Pravaya Sokolovka River, the Upper Ussuri River basin // *Water Resources*. 2019. Vol. 46, N S2. P. S8–S16.
25. Губарева Т.С. Типы распределений при оценке экстремальных паводков // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*. 2010. № 5. С. 446–457.

References

1. Bolgov, M.V.; Lobanova A.G. Engineering and hydrological calculations and climate change: how to develop new approaches? *Russian Meteorology and Hydrology*. 2025;(4):25–36. (In Russian).
2. Balonishnikova, Zh.A.; Eremeeva A.O. Water availability in the Russian Federation in a changing climate. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2025;(4):317–325. (In Russian).
3. Zhuravlev, S.A.; Buzmakov, S.V.; Yukhno, A.V.; Georgievskii, V.Yu.; Grek, E.A.; Meshcherin, V.A. Hydrological features and causes of the 2024 Ural River flood in the Orenburg oblast. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2025;(4):98–108. (In Russian).

4. Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2021; 2391 p.
5. Third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. High Technology, St-Petersburg, Russia, 2022; 676 p. (In Russian).
6. Rostov, I.D.; Rudykh, N.I.; Rostov, V.I.; Vorontsov, A.A. Expressions of global climatic changes in coastal waters of the northern part of the Sea of Japan. *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2016;(5):100–112. (In Russian).
7. Gartsman, B.I.; Lupakov, S.Yu. Changes in the maximum runoff regime in the Ussuri River basin: the methodological aspects of forecasting based on dynamic-stochastic simulation. *Water Resources*. 2018; 45(1):S79–S89.
8. Gartsman, B.I.; Mezentseva, L.I.; Popova, N.Y.; Sokolov, O.V.; Menovshchikova, T.S. Conditions of generation of extremely high-water content of Primorye rivers in autumn-winter 2012. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2014;(4):260–270. (In Russian).
9. Makagonova, M.A. Water cycle in small river basins of the southern Far East: a regional assessment based on dynamic modeling. PhD thesis, Irkutsk, Russia, 2009; 182 p. (In Russian).
10. Gartsman, B.I.; Lupakov, S.Yu. Assessment of the Ussuri River flood regime changes regarding to climate projections to the end of the XXI century. *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*. 2019;(1):52–70. (In Russian).
11. Gelfan, A.N.; Kalugin, A.S.; Motovilov, Yu.G. Assessing Amur water regime variations in the XXI century with two methods used to specify climate projections in river runoff formation model. *Water Resources*. 2018;(3):307–317. (In Russian).
12. Gubareva, T.S. Spatial patterns of flood distribution on rivers in temperate zone of the north hemisphere. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2011;(2):65–77. (In Russian).
13. Vinogradov, Yu.B. Mathematical modeling of runoff formation processes. Gidrometeoizdat: Leningrad, USSR, 1988; 365 p. (In Russian).
14. Meshchenina, L.A.; Novorotsky P.V.; Ponomarev, V.I. Climatic changes and fluctuations of the Amur runoff. *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2007;(4):44–54. (In Russian).
15. Petrov, E.S.; Novorotsky, P.V.; Lenshin, V.T. Climate of Khabarovsk territory and Jewish Autonomous region. Dalnauka: Vladivostok-Khabarovsk, Russia, 2000; 174 p. (In Russian).
16. Guide to Climatological Practices. WMO: Geneva, Switzerland, 2018; 139 p.
17. Shelutko, V.A. Statistical computational technique in hydrology. LPI: Leningrad, USSR. 1977; 175 p. (In Russian).
18. Gartsman, B.I.; Stepanova, M.V. Hydrological calculations peculiarities of maximum runoff in the Far East. *Geography and natural resources*. 1996;(4):103–110. (In Russian).
19. Gubareva, T.S. Maximum River flow in the Amur basin: patterns of formation and calculation methods. Dissertation of a candidate of geographical sciences. Irkutsk, 2004; 143 p. (In Russian).
20. Sotnikova, L.F. Experience of applying a truncated gamma distribution to the calculation of maximum river flow. In *Problems of regulation and use of water resources*. Nauka, Moscow, 1973:56–85. (In Russian).
21. Gartsman, B.I. Rain floods on rivers in the southern Far East: methods of calculation, forecasting, and risk assessment. Dalnauka: Vladivostok, Russia, 2008; 223 p. (In Russian).
22. Gartsman, B.I.; Lupakov, S.Yu. Effect of climate changes on the maximal runoff in the Amur basin: estimation based on dynamic-stochastic simulation. *Water Resources*. 2017;(5):1–11.
23. Gartsman, B.I. A FCM runoff model for small rivers with rainfall recharge. 1. The concept and algorithms. *Water Resources*. 2023;(4):491–502.
24. Bugaets, A.N.; Gartsman, B.I.; Gonchukov, L.V.; Lupakov, S.Y.; Shamov, V.V.; Pshenichnikova, N.F.; Tereshkina, A.A. Modeling the hydrological regime of small testbed catchments based on field observations: a case study of the Pravaya Sokolovka River, the Upper Ussuri River basin. *Water Resources*. 2019;(46):S2, S8–S16.
25. Gubareva, T.S. Types of probability distribution for extreme flood estimation. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*. 2010;(5):446–457. (In Russian).

Статья поступила в редакцию 17.02.2026; одобрена после рецензирования 17.03.2026; принята к публикации 20.03.2026.

The article was submitted 17.02.2026; approved after reviewing 17.03.2026; accepted for publication 20.03.2026.



Особенности оценки биомассы и запасов углерода методами наземного и воздушного сканирования на карбоновом полигоне

Вероника Антоновна КОСТЫК^{1,2}
инженер-лаборант, аспирант
kostyk.1956@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6494-8947>

Кирилл Иванович КАЛАШНИКОВ¹
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
kalashnikov.ki@dvfu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4232-1796>

Евгений Андреевич ЛЯЛЮШКО¹
старший преподаватель
lialyushko.ea@dvfu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9081-6323>

Константин Андреевич НАГОРНЫЙ¹
инженер
nagorny.ki@dvfu.ru, <https://orcid.org/0009-0008-0259-1162>

Снежана Валентиновна ВИХРЕНКО¹
ведущий инженер, аспирант
vikhrenko.sv@dvfu.ru, <https://orcid.org/0009-0006-9531-1419>

¹Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

²Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия

Аннотация. Биомасса – важнейший показатель при мониторинге глобального углеродного цикла. Карбоновые полигоны являются площадками для детального изучения газообмена и способностей экосистем к эмиссии и депонированию парниковых газов. Подобные климатические проекты изучают отдельные компоненты ландшафта, например, почвы, болота, водные объекты, растительность, включая леса. Индивидуальные параметры различных пород деревьев в смешанных лесах являются ценными показателями, которые требуются в том числе для климатических проектов и лесного хозяйства. Исследования по этой теме сосредоточены на определении характеристик отдельных деревьев в лесах с преобладающей породой. Проблема определения биомассы в смешанных лесах изучена недостаточно. Цель исследования заключалась в проведении эксперимента по совмещению методик сканирования для оценки биомассы. В данной работе оценка биомассы деревьев определялась в смешанном лесу путем объединения данных воздушного и наземного сканирования местности, а также результатов мультиспектральной аэрофотосъемки территории. Основные этапы исследования включали классификацию деревьев с помощью мультиспектральных данных в сочетании с натурными наблюдениями; объединение результатов наземной и воздушной съемки, где определение вида дерева по аэрофотосъемке выступает в качестве основы для класси-

фикации облака точек; облако точек использовано для нахождения диаметра и высоты отдельных деревьев. Результаты показывают, что применяя особые условия обработки мультиспектральных снимков, можно разделить деревья по видам, при комбинации с данными лазерного сканирования оценить биомассу деревьев в сложном насаждении. Для оценки точности лазерного сканирования были проведены выборочные натурные измерения диаметра и высоты деревьев, которые показали расхождения в пределах 9 %. При сравнении натуральных и лазерных методов измерений диаметров и высот выявлены возможности повышения точности и скорости получения данных о деревьях. Произведенная оценка биомассы способствует уточнению расчетов запасов углерода в отдельных компонентах экосистемы.

Ключевые слова: биомасса, запасы углерода, лазерное сканирование, аэрофотосъемка, карбоновый полигон

Для цитирования: Костык В.А., Калашников К.И., Лялюшко Е.А., Нагорный К.А., Вихренко С.В. Особенности оценки биомассы и запасов углерода методами наземного и воздушного сканирования на карбоновом полигоне // Тихоокеанская география. 2026. № 3. С. 101–110. https://doi.org/10.35735/26870509_2026_27_9

Original article

Features of biomass and carbon stock assessment using ground-based and airborne scanning methods at the carbon polygon

Veronika A. KOSTYK^{1,2}
laboratory engineer, postgraduate student
kostyk.1956@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6494-8947>

Kirill I. KALASHNIKOV¹
Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor
kalashnikov.ki@dvfu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4232-1796>

Evgeny A. LIALIUSHKO¹
senior lecturer
lialiushko.ea@dvfu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9081-6323>

Konstantin A. NAGORNYI¹
engineer
nagornyi.ka@dvfu.ru, <https://orcid.org/0009-0008-0259-1162>

Snezhana V. VIKHRENKO¹
leading engineer, postgraduate student
vikhrenko.sv@dvfu.ru, <https://orcid.org/0009-0006-9531-1419>

¹Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

²Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

Abstract. Biomass represents a crucial metric in the ongoing surveillance of the global carbon cycle. Carbon polygons serve as platforms for thorough examination of gas exchange processes and ecosystem capabilities regarding greenhouse gas emissions and sequestration. Since 2022, the Far Eastern Carbon Polygon has been functioning in Primorsky Krai, Russia, One of its sites, «Ajax» being analyzed in this study. Such climate-focused projects investigate distinct landscape components such as soils, wetlands,

water bodies, vegetation, particularly forests. Individual parameters of various tree species in mixed forests constitute valuable indicators necessary for climate initiatives and forestry management alike. Studies addressing this subject typically focus on identifying tree-specific characteristics within dominant-species forests. Nevertheless, challenges persist concerning biomass evaluation in mixed-species forests. The purpose of the study was to conduct an experiment on combining scanning techniques for biomass assessment. To address this issue, the present study employs an integrative method combining airborne and terrestrial scanning data along with multispectral aerial photography. Primary phases encompassed tree classification using multispectral data augmented by field studies conducted over a trial plot; fusion of ground survey outcomes with aerial reconnaissance results, wherein multispectral-determined tree species classification forms the cornerstone for point-cloud segmentation; finally, exploiting the resultant point cloud to derive individual tree diameters and heights. Findings suggest that specialized procedures for processing multispectral imagery enable distinguishing tree species. Combining these results with laser scanning-derived metrics allows for robust biomass estimation in mixed forest stands. Selective ground measurements of tree diameters and heights corroborated laser scanning data, revealing deviations within 9%. A comparative analysis highlighted opportunities for enhancing both the accuracy and efficiency of data acquisition methods. These advances contribute significantly towards improving environmental monitoring frameworks, thereby facilitating informed decision-making in climate change mitigation strategies and sustainable forest management endeavors. The biomass assessment helps to refine calculations of carbon reserves in individual ecosystem components.

Keywords: biomass, carbon stock, laser scanning, aerial photography, carbon polygon

For citation: Kostyk V.A., Kalashnikov K.I., Lialushko E.A., Nagornyi K.A., Vikhrenko S.V. Features of biomass and carbon stock assessment using ground-based and airborne scanning methods at the carbon polygon. *Pacific Geography*. 2026;(3):101–110. (In Russ.). https://doi.org/10.35735/26870509_2026_27_9

Введение

Согласно общеизвестным оценкам, за последнее столетие на планете значительно увеличились выбросы углекислого газа, что оказывает влияние на глобальное изменение климата и ухудшение экологической обстановки [1]. Наземные экосистемы способны эффективно снижать выбросы углекислого газа благодаря фотосинтезу. Лесной покров представляет собой крупнейшее хранилище углерода на суше, способное контролировать выбросы, выступать регулятором глобального круговорота углерода и замедлять климатические изменения [2]. Особую важность приобретают задачи оперативного и детального определения биомассы лесов, что способствует принятию эффективных решений по климатической повестке.

Общепринятые методы определения вида, высоты и диаметра ствола дерева основываются на натурных измерениях. Временные и трудовые затраты на полевые работы не всегда соответствуют качеству полученных данных, которые обладают большой степенью субъективности, например, высота дерева часто определяется с погрешностью более 1 м [3]. Развитие беспилотной авиации (беспилотные летательные аппараты, БПЛА), систем позиционирования, фотограмметрической обработки открывает новые возможности в изучении лесов [4].

Дистанционное зондирование Земли (с помощью БПЛА) в последнее время все чаще используется для определения метрических характеристик. Например, технология LIDAR (Light Detection and Ranging — обнаружение и определение дальности с помощью света) используется для получения информации о конфигурации кроны и расчетов биомассы [5]. Подробный выбор метрик для моделирования биомассы по результатам применения этой технологии рассмотрен в работе [6], где описано локальное применение лазерного сканирования. Стоит отметить преимущественное применение LIDAR при воздушном сканировании [7–9], где отдельные деревья и высота могут быть получены из облака точек с долей корректного детектирования деревьев относительно полевого учета, равной 86 %. Согласно исследованиям [10–15], чаще всего воздушная лидарная съемка применяется в изуче-

нии лесных угодий, преимущественно это участки с имеющимися пробными площадями или с преобладающей породой. Гораздо реже встречаются исследования о совмещении наземной и воздушной съемки [16, 17], что может повысить процент идентифицированных деревьев и уточнить диаметры стволов в однородном лесу.

Ряд отечественных ученых достаточно подробно описали количественные показатели обобщенных пород деревьев [18], что теоретически обосновано в монографии и закреплено базой данных в открытом доступе. Стоит отметить работы [19, 20], в которых определение дендрометрических характеристик производится с помощью наземного (статичного) лазерного сканирования и аэрофотосъемки, что позволяет в значительной степени расширить возможности изучения лесов. Однако стоит отметить, что исследования в этой сфере проводятся в основном в центральной части страны и касаются деревьев с «эталонными» характеристиками, часто произрастающими в заповедных зонах.

Одним из недостатков технологий воздушного (ВЛС) и наземного лазерного сканирования (НЛС) для определения биомассы является необходимость натурных обследований при определении вида растения. Альтернативным источником данных могут стать мульти- и гиперспектральные данные дистанционного зондирования. Мультиспектральные изображения находят широкое применение в дистанционном зондировании Земли. Использование мультиспектральных сенсоров позволяет извлекать спектральные характеристики объектов и, в отличие от традиционных камер, работающих в видимом диапазоне, получать информацию, не доступную зрению человека. Мультиспектральные данные дистанционного зондирования позволяют разделить деревья по видам, но не представляют достаточной информации об их метрических характеристиках. Воздушное и лазерное сканирование позволяет получить трехмерную информацию об отдельных деревьях, но не характеризует видовой состав деревьев.

Цель исследования — разработать и апробировать комбинированный метод оценки наземной биомассы отдельных деревьев в смешанном лесу на основе интеграции данных наземного и воздушного лазерного сканирования (НЛС и ВЛС) с мультиспектральной съемкой с БПЛА на карбоновом полигоне. В задачи входили: классификация пород деревьев по мультиспектральным данным; совмещение наземного и воздушного облаков точек для получения высот и диаметров стволов; верификация результатов по данным полевых описаний; расчет биомассы и запасов углерода для отдельных пород. Новизна работы заключается в том, что комбинация ВЛС, НЛС и мультиспектральной съемки впервые апробирована на карбоновом полигоне в условиях Приморья.

Материалы и методы

В исследовании предложен комбинированный метод определения биомассы отдельных деревьев, основанный на результатах наземного и воздушного лазерного сканирования, а также мультиспектральных данных дистанционного зондирования с помощью БПЛА. Этот метод позволяет точнее и быстрее оценить биомассу леса и отдельных деревьев и подходит для локальных участков. Метод применялся на участке карбонового полигона на территории парка кампуса Дальневосточного федерального университета, расположенного на о-ве Русский (б. Аякс), г. Владивосток. Проверка результатов проходила на основе данных натурных обследований.

Объект исследования – смешанный лес (искусственные посадки и естественный лес) [21]. Карбоновый полигон представляет собой участок земли и морской акватории с общей площадью 24 га. Средняя высота сухопутной части полигона над уровнем моря 18.5 м с перепадами от 39 до 2 м.

Климат региона муссонный, вегетационный период продолжается 170 дней, средняя температура января -7 °С, июля +17.3 °С, среднегодовая сумма атмосферных осадков 853 мм. Длительность морозного периода (температура воздуха меньше 0 °С) составляет

90 дней. Скорость роста температуры воздуха – $0.3^{\circ}\text{C}/10$ лет, средняя многолетняя тенденция роста сумм атмосферных осадков – $14,8 \text{ мм}/10$ лет [22].

Подготовительный этап заключался в закреплении на местности 27 опознавательных знаков, координаты которых определены в системе UTM 52N с помощью ГНСС-приемника (глобальная навигационная спутниковая система) PrinCe I90 в режиме RTK (Real Time Kinematic «кинематика в реальном времени»). Для всех видов работ выбрана общая система координат WGS 84 с проекцией UTM 52 для Северного полушария. Каждый вид съемки проводился одновременно 23.03.2025 и 01.07.2025, схемы съемки приведены на рис. 1.

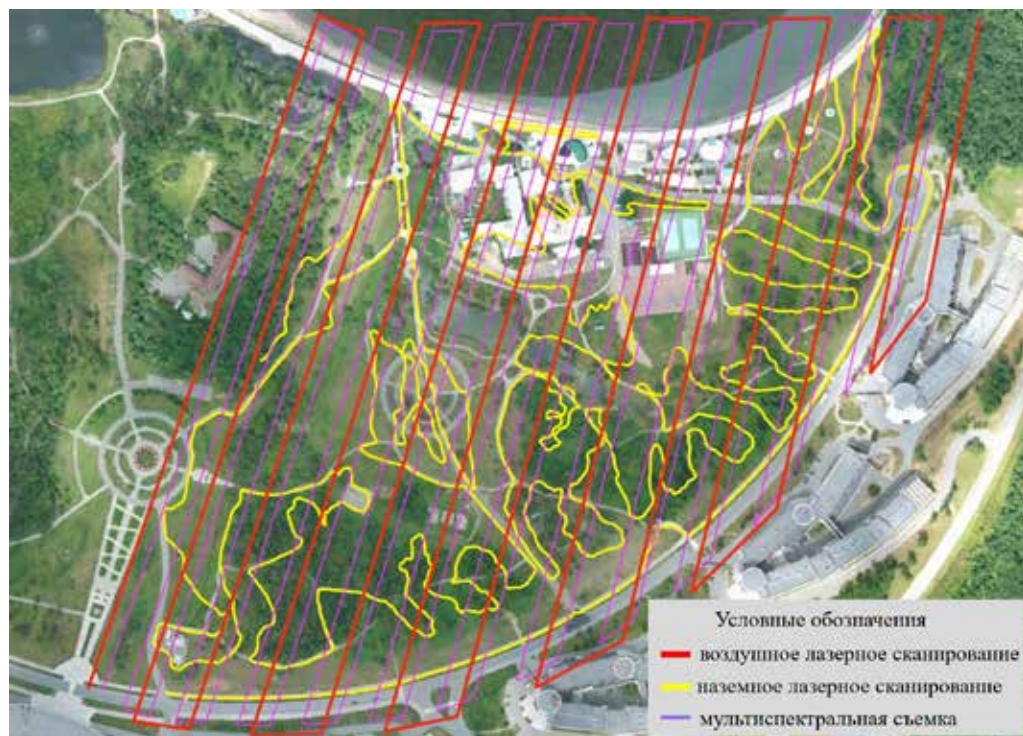


Рис. 1. Схема маршрутов съемок карбонового полигона (о. Русский)

Fig. 1. Shooting route map of the carbon test site (Russky Island)

Мультиспектральная аэрофотосъемка выполнялась квадрокоптером DJI Mavic 3 Multispectral. Полет осуществлялся по составленному полетному заданию на высоте 60 м с продольным и поперечным перекрытием снимков 80 и 70 % соответственно. Обработка фотоснимков произведена в ПО Agisoft Metashape.

Воздушное лазерное сканирование произведено беспилотным летательным аппаратом DJI Matrice 300 RTK с полезной нагрузкой Zenmuse L1. Полет совершался на высоте 60 м относительно рельефа, скорость полета 3 м/с, частота сканирования 160 kHz с фиксацией до 3 эхо-сигналов и плотностью 400 точек/м². Фотографирование для окрашивания облака точек в RGB велось параллельно при сканировании с продольным и поперечным перекрытием 70 и 30 % соответственно. Обработка результатов ВЛС проводилась в ПО DJI Terra.

Наземное лазерное сканирование выполнено с помощью сканера GreenValley LiGrip H300. Траектория движения менялась в зависимости от внешних факторов, но выбиралась таким образом, чтобы в полном объеме охватить территорию съемки. Обработка произведена в ПО Lidar360.

Полученные облака точек очищены от шумов с помощью инструмента Noise Filter, произведено выделение точек рельефа инструментом Classify Ground Points, нормализа-

ция рельефа выполнена инструментом Normalize by Ground Points; сегментация отдельных деревьев произведена через Point Cloud Segmentation, диаметры и высоты получены инструментом Statistic Individual Tree Attributes. Для корректной работы указанных инструментов установлены критерии исследуемой территории, где минимальная высота дерева 14 м, высота ствола для идентификации по диаметру 1.3 м, минимальный диаметр дерева 10 см. Расчет биомассы (W) произведен по формуле, предложенной в работе [23]: $W = a(D^2H)^b$, где D – диаметр дерева на высоте 1.3 м, H – высота дерева, a и b – рассчитанные параметры для отдельных пород [24].

Результаты и их обсуждение

В результате наземного и воздушного сканирования получены облака точек, по результатам аэрофотосъемки составлен мультиспектральный ортофотоплан, по натурным наблюдениям выборочно зафиксированы параметры деревьев на бумаге. Точность взаимного расположения облаков измерялась с помощью внутренней функции ПО Lidar360 – парные точки. Выбирается характерная точка на двух облаках. После определения как минимум 3 общих характерных точек программа выдает СКО по каждой из них. Поскольку разности в координатах облаков точек относительно малы, был использован алгоритм ICP (interactive closest points), встроенный в ПО Lidar360. С помощью него облака были соединены с СКО 6 см. Совмещение облаков выполнено по опознавательным знакам с точностью 3–5 см.

Два облака точек были объединены и классифицированы по видам объектов (травы, деревья, здания, дороги). Произведена процедура нормализации для приведения к единому уровню рельефа. Выполнена процедура идентификации деревьев, нахождения диаметра и высоты дерева по объединенному облаку точек. Выявлено 679 деревьев. Произведено сравнение полученных диаметров и высот с натурными измерениями 18 тестовых деревьев, в результате чего установлено, что традиционное измерение высоты в сложных условиях дает погрешность в 1–2 м [25], лазерное же сканирование определяет высоту с точностью 1–10 см. Стоит отметить, что погрешность определения диаметра мерной лентой составляет менее 1 см, однако определение отметки измерения в 1.3 м содержит большую погрешность благодаря сложному рельефу и наклону ствола. В то же время облако точек позволяет определять диаметр дерева по длине ствола через заданный интервал, например, 5 см, что компенсирует общую погрешность определения диаметра в 1–5 см.

Составлена схема распределения деревьев по шести категориям, которая представлена на рис. 2.

Стоит отметить, что работы по выделению шести классов деревьев не включали в себя определение полных биномиальных названий (рода и вида), например, для ивы *Tilia*, так как на исследуемой территории произрастает более одного представителя рода. Для удобства шесть указанных классов получили упрощенные названия: дубы, березы, липы, ясени, другие. На исследуемой территории идентифицировано 1255 деревьев, из них для расчетов выбрано 679, имеющих диаметр ствола более 10 см.

По результатам мультиспектральной аэрофотосъемки произведена кросс-валидация видов через стратифицированную случайную выборку в ПО ArcGIS Pro. Значение одного из шести классов деревьев по ортофотоплану откорректировано авторами на основе натурного обследования. В качестве критерия точности принята метрика $F1$ в пределах от 0 до 1, ее величина составила в среднем 0.75.

Оценка биомассы произведена с помощью соответствующих аллометрических уравнений (см. табл.).

Общий объем отсканированного леса составляет около 1 028 м³, суммарная наземная биомасса равна 353 971 кг, наибольший вклад (62.7 %) вносят дубы (81 070 кг), ивы (79 406 кг), березы (17 499 кг). Согласно традиционным методам оценки запасов углерода

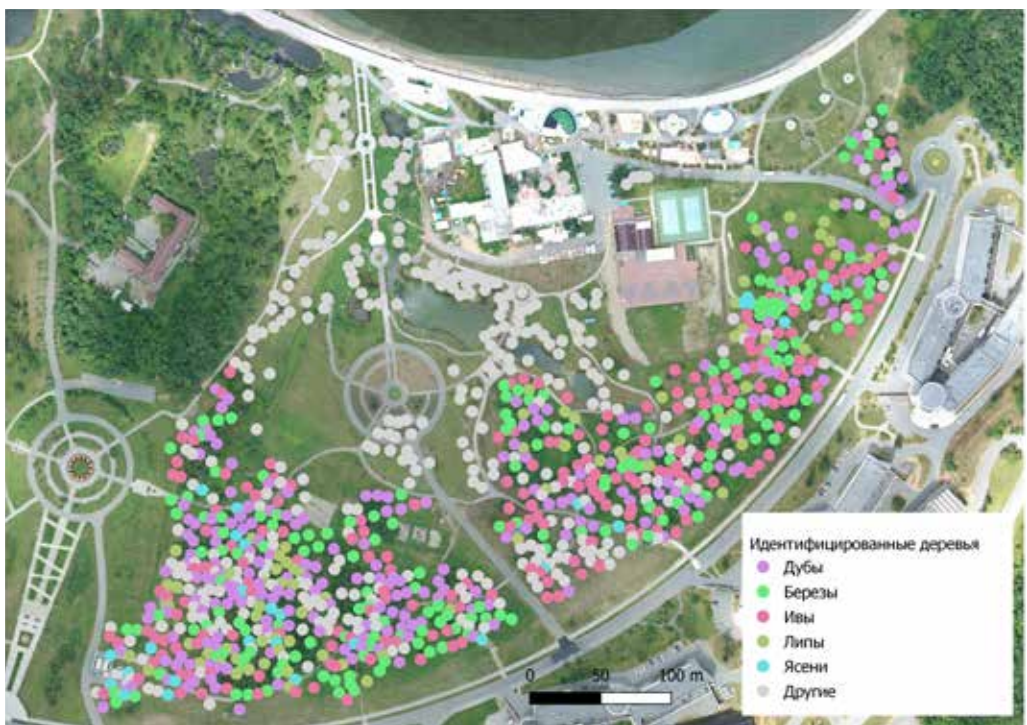


Рис. 2. Схема расположения идентифицированных деревьев на площадке карбонового полигона
Fig. 2. The layout of the identified trees on the carbon polygon site

Таблица

Количественные параметры исследуемых деревьев
Table. Quantitative parameters of the studied trees

Класс	Количество деревьев, шт.	Биомасса, кг	Углерод, кг
Дубы	201	81070	40535
Березы	115	17499	8749
Ивы	110	79406	39703
Липы	52	12237	6119
Ясени	37	17472	8736
Другие	164	146289	73145

для деревьев принят переходный коэффициент 0.5, на который необходимо умножить биомассу.

Полученные оценки могут внести значительные уточнения в климатические проекты, например, карбоновые полигоны, также способствовать развитию рынка углеродных единиц. Предложенный алгоритм позволяет оценить биомассу деревьев с точностью, сопоставимой с полевой, при значительном сокращении трудозатрат.

Заключение и выводы

В результате проведения комплекса работ по наземному и воздушному лазерному сканированию, а также мультиспектральной аэрофотосъемки на территории дальневосточного карбонового полигона (б. Аякс) комбинированным способом произведена клас-

сификация деревьев, получены высоты и диаметры стволов, произведена верификация по натурным данным, произведен расчет биомассы и запасов углерода для отдельных пород. При сравнении с натурными данными вычисления по облаку точек показали точность более 90 % (диаметр и высота). Идентифицированные деревья разделены на шесть классов, преобладающими деревьями (63 % от общего числа) являются дубы, березы, ивы; около 13 % территории занимают липы и ясени; 24 % других деревьев следует определить в будущих исследованиях, проводя подробные геоботанические описания, которые позволяют расширить и уточнить классификацию. Установлено, что наземное облако точек может быть использовано отдельно от воздушного, так как обладает достаточной детальностью. Метод определения вида дерева по мультиспектральной съемке требует значительной доработки (так как предварительная точность метода составляет 63 %), но для задач общей оперативной оценки биомассы на территории более 1 га по известным породам деревьев демонстрирует удовлетворительную идентификацию. Описанный метод позволяет в сжатые сроки получить полную информацию о лесном покрове для оперативных и сезонных оценок биомассы. В сложных лесных насаждениях для определения видов деревьев предлагается использовать мультиспектральные методы, а для оценки отдельных параметров деревьев – технологию LIDAR. Точное объединение этих двух типов данных позволяет распознавать породы деревьев и вычислять биомассу и запасы углерода отдельных деревьев в сложных лесных условиях. Полученные результаты способны существенно скорректировать климатические инициативы, включая проекты карбонового полигона, а также стимулировать развитие рынка углеродных единиц.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FZNS-2026-0020 «Оценка ресурсного потенциала прибрежно-морских экосистем».

Acknowledgments. The work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project no. FZNS-2026-0020 “Assessment of the resource potential of coastal marine ecosystems”.

Литература

1. Hember R., Kurz W. Low tree-growth elasticity of forest biomass indicated by an individual-based model // *Forests*. 2018, Vol. 9. P. 25. <https://doi.org/10.3390/f9010021>.
2. Krofcheck D., Litvak M., Lippitt C., Neuenschwander A. Woody biomass estimation in a southwestern US. Juniper savanna using lidar-derived clumped tree segmentation and existing allometries // *Remote Sens*. 2016. Vol. 8. P. 15. <https://doi.org/10.3390/rs8060453>.
3. Sterenczak K., Mielcarek M., Wertz B., Bronisz K., Zajączkowski G., Jagodziński A.M., Ochał W., Skorupski M. Factors influencing the accuracy of ground-based tree-height measurements for major European tree species // *J. Environ. Manag.* 2019, Vol. 231. P. 1284–1292. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.100>.
4. Berra E., Gaulton R., Barr S. Assessing spring phenology of a temperate woodland: A multiscale comparison of ground, unmanned aerial vehicle and Landsat satellite observations // *Remote Sensing of Environment*. 2019. Vol. 223. P. 229–242. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.010>.
5. Anjin C., Yongmin K., Yongil K., Yangdam E. Estimation of individual tree biomass from airborne lidar data using tree height and crown diameter // *Disaster Adv.* 2012. Vol. 5. P. 360–365.
6. Borsah A., Nazeer M., Wong M. LIDAR-Based Forest Biomass Remote Sensing: A Review of Metrics, Methods, and Assessment Criteria for the Selection of Allometric Equations // *Forests*. 2023. Vol. 14. P. 22. <https://doi.org/10.3390/f14102095>.
7. Cao L., Liu H., Fu X., Zhang Z., Ruan H. Comparison of UAV lidar and digital aerial photogrammetry point clouds for estimating forest structural attributes in subtropical planted forests // *Forests*. 2019. Vol. 10. P. 22. <https://doi.org/10.3390/f10020145>.
8. Lisein J., PierrotDeseilligny M., Bonnet S., Lejeune P. A photogrammetric workflow for the creation of a forest canopy height model from small Unmanned Aerial System imagery // *Forests*. 2013. Vol. 4. P. 922–944. <https://doi.org/10.3390/f4040922>.
9. Li W., Guo Q., Jakubowski M.K., Kelly M. A new method for segmenting individual trees from the LiDAR point cloud // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 2012. Vol. 78 (1). P. 75–84. <https://doi.org/10.14358/PERS.78.1.75>.

10. Hudak A.T., Haren A.T., Crookston N.L., Lieberman R.J., Ohmann J.L. Imputing Forest structure attributes from stand inventory and remotely sensed data in western Oregon, USA // *Forest Science*. 2014. Vol. 60 (2). P. 253–269. <https://doi.org/10.5849/forsci.12-101>.
11. Safonova A., Hamad Y., Dmitriev E., Georgiev G., Trenkin V., Georgieva M., Dimitrov S., Iliev M. Individual tree crown delineation for the species classification and assessment of vital status of forest stands from UAV images // *Drones*. 2021. Vol. 5 (3). P. 18. <https://doi.org/10.3390/drones5030077>.
12. Dalponte M., Coomes D.A. Treecentric mapping of forest carbon density from airborne laser scanning and hyperspectral data // *Methods in Ecology and Evolution*. 2016. Vol. 7 (10). P. 1236–1245.
13. Brieger F., Herzsich U., Pestryakova L.A., Bookhagen B., Zakharov E.S., Kruse S. Advances in the Derivation of Northeast Siberian Forest Metrics Using High-Resolution UAV-Based Photogrammetric Point Clouds // *Remote Sens*. 2019. Vol. 11. P. 24. <https://doi.org/10.3390/rs11121447>.
14. Neuville R., Bates J.S., Jonard F. Estimating Forest Structure from UAV-Mounted LiDAR Point Cloud Using Machine Learning // *Remote Sens*. 2021. Vol. 13. P. 18. <https://doi.org/10.3390/rs13030352>.
15. Алексеев А.С., Данилов Ю.И., Никифоров А.А. Опыт применения беспилотного летательного аппарата для инвентаризации и оценки опытных лесных культур Лисинской части учебно-опытного лесничества Ленинградской области // *Труды Санкт-Петербургского НИИЛХ*. 2020. № 2. С. 46–58. <https://doi.org/10.21178/2079-6080.2020.2.46>.
16. Иванова Н.В., Шашков М.П., Шанин В.Н. Определение характеристик смешанных древостоев по данным аэрофотосъемки с применением беспилотного летательного аппарата (БПЛА) // *Вестн. Том. гос. ун-та. Биология*. 2021. № 54. С. 158–175.
17. Pu Y., Xu D., Wang H., Li X., Xu X. A New Strategy for Individual Tree Detection and Segmentation from Leaf-on and Leaf-off UAV-LiDAR Point Clouds Based on Automatic Detection of Seed Points // *Remote Sens*. 2023. Vol. 15. P. 19. <https://doi.org/10.3390/rs15061619>.
18. Усольцев В.А. Биомасса и первичная продукция лесов Евразии. Екатеринбург: Ботанический сад УрО РАН, 2023. 530 с.
19. Кабонен А.В. Оценка состояния и структуры насаждений с применением аэрофотосъемки и лазерного сканирования: дис. ... канд. с.-х. наук: 4.1.6. Петрозаводск, 2024. 118 с.
20. Кабонен А.В., Димитров В.М. Оценка дендрометрических характеристик насаждений по данным наземного лазерного сканирования // *Сибирский лесной журнал*. 2025. № 5. С. 90–99.
21. Дальневосточный Карбоновый полигон. 2024. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://carbon-polygons.ru/polygons/karbonovyyj-poligon-v-primorskom-krae> (дата обращения: 15.02.2026).
22. Костык В.А., Лисина И.А., Вихренко С.В. Климатические условия функционирования карбоновых полигонов на юге Приморского края // *Почво- и углерод-сберегающие технологии в АПК России и Мира. Материалы Международной научной конференции, Москва, 26–28 ноября 2024 г. Москва; Владивосток: ДВФУ, 2024. С. 60–64.*
23. Lian X., Zhang H., Xiao W., Lei Y., Ge L., Qin K., He Y., Dong Q., Li L., Han Y. et al. Biomass Calculations of Individual Trees Based on Unmanned Aerial Vehicle Multispectral Imagery and Laser Scanning Combined with Terrestrial Laser Scanning in Complex Stands. *Remote Sens*. 2022, Vol. 14. P. 18. <https://doi.org/10.3390/rs14194715>.
24. Li H., Lei Y. Estimation and Evaluation of Forest Biomass Carbon Storage in China; China Forestry Press: Beijing, China, 2010. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://clck.ru/3Untez> (дата обращения: 15.07.2025).
25. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 5 августа 2022 г. № 510 «Об утверждении Лесоучетной инструкции». [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://urtmag.ru/upload/iblock/604/Prikaz-Minprirody-Rossii-ot-05_08_2022-N-510-Ob-utverzhenii.pdf (дата обращения: 15.02.2026).

References

1. Hember, R.; Kurz, W. Low tree-growth elasticity of forest biomass indicated by an individual-based model. *Forests*. 2018;(9):25. <https://doi.org/10.3390/f9010021>.
2. Krofcheck, D.; Litvak, M.; Lippitt, C.; Neuenschwander, A. Woody biomass estimation in a southwestern US. Juniper savanna using lidar-derived clumped tree segmentation and existing allometries. *Remote Sens*. 2016;(8):15. <https://doi.org/10.3390/rs8060453>. (In English)
3. Sterenczak, K.; Mielcarek, M.; Wertz, B.; Bronisz, K.; Zajączkowski, G.; Jagodziński, A.M.; Ochał, W.; Skorupski, M. Factors influencing the accuracy of ground-based tree-height measurements for major European tree species. *J. Environ. Manag.* 2019;(231):1284–1292. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.100>.
4. Berra, E.; Gaulton, R.; Barr S. Assessing spring phenology of a temperate woodland: A multiscale comparison of ground, unmanned aerial vehicle and Landsat satellite observations. *Remote Sensing of Environment*. 2019;(223):229–242. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.010>.
5. Anjin, C.; Yongmin, K.; Yongil, K.; Yangdam, E. Estimation of individual tree biomass from airborne lidar data using tree height and crown diameter. *Disaster Adv.* 2012;(5):360–365.
6. Borsah, A.; Nazeer, M.; Wong, M. LIDAR-Based Forest Biomass Remote Sensing: A Re-view of Metrics, Methods, and Assessment Criteria for the Selection of Allometric Equations. *Forests*. 2023;(14):22. <https://doi.org/10.3390/f14102095>.

7. Cao, L.; Liu, H.; Fu, X.; Zhang, Z.; Ruan, H. Comparison of UAV lidar and digital aerial photogrammetry point clouds for estimating forest structural attributes in subtropical planted forests. *Forests*. 2019;(10):22. <https://doi.org/10.3390/f10020145>.
8. Lisein J.; PierrotDeseilligny M.; Bonnet S.; Lejeune P. A photogrammetric workflow for the creation of a forest canopy height model from small Unmanned Aerial System imagery. *Forests*. 2013;(4):922–944. <https://doi.org/10.3390/f4040922>.
9. Li, W.; Guo, Q.; Jakubowski, M.K.; Kelly, M. A new method for segmenting individual trees from the Li-DAR point cloud. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 2012;78(1):75–84. <https://doi.org/10.14358/PERS.78.1.75>.
10. Hudak, A.T.; Haren, A.T.; Crookston, N.L.; Lieberman, R.J.; Ohmann, J.L. Imputing Forest structure attributes from stand inventory and remotely sensed data in western Oregon, USA. *Forest Science*. 2014;60(2):253–269. <https://doi.org/10.5849/forsci.12-101>.
11. Safonova, A.; Hamad, Y.; Dmitriev, E.; Georgiev, G.; Trenkin, V.; Georgieva M.; Dimitrov S.; Iliev M. Individual tree crown delineation for the species classification and assessment of vital status of forest stands from UAV images. *Drones*. 2021;5(3):18. <https://doi.org/10.3390/drones5030077>.
12. Dalponte, M.; Coomes, D.A. Treecentric mapping of forest carbon density from airborne laser scanning and hyperspectral data. *Methods in Ecology and Evolution*. 2016; 7(10):1236–1245.
13. Brieger, F.; Herzsuh, U.; Pestryakov, A.L.A.; Bookhagen, B.; Zakharov, E.S.; Kruse, S. Advances in the Derivation of Northeast Siberian Forest Metrics Using High-Resolution UAV-Based Photogrammetric Point Clouds. *Remote Sens*. 2019;(11):24. <https://doi.org/10.3390/rs11121447>.
14. Neuville, R.; Bates, J.S.; Jonard, F. Estimating Forest Structure from UAV-Mounted Li-DAR Point Cloud Using Machine Learning. *Remote Sens*. 2021;(13):18. <https://doi.org/10.3390/rs13030352>.
15. Alekseev, A.S.; Danilov, Yu.I.; Nikiforov, A.A. Experience of using an unmanned aerial vehicle for inventory and evaluation of experimental forest crops in the Chinese part of the educational and experimental forestry of the Leningrad region. In *Proceedings of the St. Petersburg Scientific Research Institute of Forestry*. 2020;(2):46–58. (In Russian). <https://doi.org/10.21178/2079-6080.2020.2.46>.
16. Ivanova, N.V.; Shashkov, M.P.; Shanin, V.N. Determination of characteristics of mixed stands based on aerial photography using an unmanned aerial vehicle (UAV). *Tomsk State University Journal. Biology*. 2021;(54):158–175. (In Russian).
17. Pu, Y.; Xu, D.; Wang, H.; Li, X.; Xu, X. A New Strategy for Individual Tree Detection and Segmentation from Leaf-on and Leaf-off UAV-LiDAR Point Clouds Based on Automatic Detection of Seed Points. *Remote Sens*. 2023;(15):19. <https://doi.org/10.3390/rs15061619>.
18. Usoltsev, V.A. Biomass and primary products of Eurasian forests. Yekaterinburg: Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2023. P. 530. (In Russian).
19. Kabonen, A.V. Assessment of the condition and structure of plantings using aerial photography and laser scanning: dissertation... Candidate of Agricultural Sciences: 4.1.6. Petrozavodsk, 2024. 118 p. (In Russian).
20. Kabonen, A.V.; Dimitrov V.M. Evaluation of dendrometric characteristics of plants according to ground laser scanning data. *Siberian Forest Journal*. 2025;(5):90–99.
21. Far Eastern Carbon landfill. 2024. (In Russian). Available online: <https://carbon-polygons.ru/polygons/karbonovyyj-poligon-v-primorskoy-krae> [Accessed: 15.02.2026].
22. Kostyk, V.A.; Lisina, I.A.; Vikhrenko, S.V. Climatic conditions of carbon landfills in the south of Primorsky Krai. In *Soil- and carbon-saving technologies in the agro-industrial complex of Russia and the world*. Proceedings of International Scientific Conference, Moscow, November 26–28, Moscow-Vladivostok: 2024, 60–64. (In Russian).
23. Lian, X.; Zhang, H.; Xiao, W.; Lei, Y.; Ge, L.; Qin, K.; He, Y.; Dong, Q.; Li, L.; Han, Y.; et al. Biomass Calculations of Individual Trees Based on Unmanned Aerial Vehicle Multispectral Imagery and Laser Scanning Combined with Terrestrial Laser Scanning in Complex Stands. *Remote Sens*. 2022;(14):18. <https://doi.org/10.3390/rs14194715>.
24. Li, H.; Lei, Y. Estimation and Evaluation of Forest Biomass Carbon Storage in China; China Forestry Press: Beijing, China, 2010. Available online: <https://clck.ru/3Untez> [Accessed: July 15.07.2025].
25. Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation dated August 5, 2022 No. 510 "On approval of Forest Management Instructions". (In Russian). Available online: https://urtmag.ru/upload/iblock/604/Prikaz-Minprirody-Rossii-ot-05_08_2022-N-510-Ob-utverzhdenii.pdf [Accessed: 15.02.2026].



Статья поступила в редакцию 27.02.2026; одобрена после рецензирования 11.05.2026; принята к публикации 15.05.2026.

The article was submitted 27.02.2026; approved after reviewing 11.05.2026; accepted for publication 15.05.2026.

Адрес редакции:

690041 Владивосток, ул. Радио, 7, каб. 215
тел. +7 (423) 232-06-46
E-mail: rac_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 30.09.2026 г.

Формат 70 × 108/16

Усл. печ. л. 9,6

Уч.-изд. л. 9,11

Тираж 100 экз. Заказ 14

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.