

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

# ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ

## № 67

Научно-теоретический журнал

*Издается с октября 2005 года*

*Выходит 4 раза в год*

ISSN 2713-3001

Санкт-Петербург  
РГГМУ  
2022

УДК УДК 001(051.2)«540.1»  
ББК 72я5

Гидрометеорология и экология. № 67. Научно-теоретический журнал. Санкт-Петербург : РГГМУ, 2022. 130 с.

Представлены статьи по наиболее актуальным современным проблемам изучения природной среды: изменениям климата в региональном и глобальном масштабах; мониторингу, моделированию и прогнозированию физических процессов в атмосфере, водах суши и морской среде; влиянию антропогенной деятельности на разнообразные процессы в биосфере, атмосфере и гидросфере Земли. Материал сгруппирован по специальностям. В разделе «Хроника» освещены события жизни университета.

Журнал предназначен для ученых, широкой категории исследователей природной среды, а также аспирантов и студентов, обучающихся по соответствующим специальностям.

*Редакционный совет:*

**Чилингаров А.Н.**, д-р геогр. наук, проф., член-корр. РАН, президент РГГМУ — *председатель совета*

**Михеев В.Л.**, канд. юрид. наук, доцент, ректор РГГМУ — *зам. председателя совета*

**Леонтьев Д.В.**, канд. юрид. наук, проректор по развитию РГГМУ, и.о. проректора по научной работе — *зам. председателя совета*

**Агафонов Г.И.**, д-р техн. наук, академик РАН, председатель совета директоров холдинговой компании «Пигмент»; **Анри де Люмле**, PhD, проф., член-корр. Французской академии наук (Франция); **Камболов М.А.**, канд. юрид. наук, вице-президент Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»; **Квинт В.Л.**, д-р экон. наук, проф., главный научный сотр. Центрального экономико-математического института РАН; **Кулешов Ю.В.**, д-р техн. наук, проф., зам. начальника Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского по учебной и научной работе; **Лил В.У.**, PhD, проф. Гамбургского ун-та (Германия) и Манчестерского ун-та (Великобритания); **Малори Жан**, PhD, профессор, почетный президент РГГМУ (Франция); **Орыщенко А.С.**, д-р техн. наук, проф., член-корр. РАН, зав. кафедрой СПбПУ; **Сальников В.Г.**, д-р геогр. наук, проф., декан ф-та географии и природопользования Казахского национального университета им. Аль-Фараби; **Сильников М.В.**, д-р техн. наук, проф., член-корр. РАН, директор Института военно-технического обучения и безопасности СПбПУ; **Тимофеева А.Г.**, канд. геогр. наук, директор Института непрерывного образования РГГМУ; **Федоров М.П.**, д-р техн. наук, проф., академик РАН, СПбПУ; **Хуакин Л.**, PhD, проф., вице-ректор Морского ун-та г. Джайян (КНР).

*Редакционная коллегия:*

**Малинин В.Н.**, д-р геогр. наук, проф. — *главный редактор*

**Погорельцев А.И.**, д-р физ.-мат. наук, проф. — *зам. главного редактора*

**Кондратьев С.А.**, д-р физ.-мат. наук — *зам. главного редактора*

**Гайдукова Е.В.**, канд. техн. наук, доцент — *отв. секретарь*

**Алексеев Г.В.**, д-р геогр. наук, проф.; **Белоненко Т.В.**, д-р геогр. наук, проф.; **Вильфанд Р.М.**, д-р техн. наук, проф.;

**Гриченко В. А.**, д-р физ.-мат. наук, проф.; **Дмитриев В.В.**, д-р геогр. наук, проф.; **Иванов В.В.**, д-р физ.-мат. наук.;

**Кудрявцев В.Н.**, д-р физ.-мат. наук, проф.; **Лобанов В.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Мохов И.И.**, д-р физ.-мат. наук, академик РАН;

**Мушкет И.И.**, д-р юрид. наук, проф.; **Перцев Н.Н.**, д-р физ.-мат. наук; **Прошутинский А.Ю.**, д-р физ.-мат. наук (США);

**Румянцев В.А.**, д-р геогр. наук, проф., академик РАН; **Рябченко В.А.**, д-р физ.-мат. наук; **Смышляев С.П.**, д-р физ.-мат. наук, проф.;

**Татарникова Т.М.**, д-р техн. наук, проф.; **Тимофеев Ю.М.**, д-р физ.-мат. наук, проф.;

**Угрюмов А.И.**, д-р геогр. наук, проф.; **Федорова Н.Ю.**, канд. пед. наук, доцент; **Филатов Н.Н.**, д-р геогр. наук, проф., член-корр. РАН;

**Хоссфельд Уве**, PhD, университет Йена (Германия); **Шапрон Б.**, PhD, ведущий ученый Института морских исследований IFREMER (Франция); **Щукин Г.Г.**, д-р физ.-мат. наук, проф.

Журнал является продолжением журнала «Ученые записки РГГМУ», который был основан в 2005 г. В 2010 г. он вошел в список ВАК по направлению «науки о Земле», а в январе 2020 г. переименован в журнал «Гидрометеорология и экология».

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство ПИ № ФС77-79574 от 27.11.2020 г.

Специализация: метеорология, гидрология, океанология, геоэкология, лимнология, геоинформатика, геофизика, общественные и гуманитарные науки.

Точка зрения редакции может не совпадать с мнением авторов статей.

Подписной индекс 78576 в «Каталоге российской прессы "Почта России"».

Журнал индексируется в системе CrossRef и включен в базу данных «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ), размещенную на платформе Национальной электронной библиотеки (<http://elibrary.ru>). Полнотекстовые версии опубликованных статей в виде pdf-файлов размещаются в Интернете для свободного доступа на сайте журнала <http://www.rshu.ru/university/notes/archive/> сразу же после его выхода.

При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна.

Адрес редколлегии: Россия, 192007, Санкт-Петербург, Воронежская ул., д. 79. Тел.: (812) 633-01-88 (доб. 421), e-mail: [rio@rshu.ru](mailto:rio@rshu.ru).

© Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2022

© Авторы публикаций, 2022

ISSN 2713-3001

The Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation

---

THE FEDERAL STATE BUDGET EDUCATIONAL  
INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION  
“RUSSIAN STATE HYDROMETEOROLOGICAL UNIVERSITY”

# HYDROMETEOROLOGY AND ECOLOGY

**№ 67**

A theoretical research journal

*Published since October, 2005*

*4 issues a year*

ISSN 2713-3001

St. Petersburg  
RSHU  
2022

UDC 001(051.2)«540.1»  
LBC 72я5

Hydrometeorology and Ecology. No. 67. St. Petersburg : RSHU Publishers, 2022. 130 p.

The Journal contains articles on the most relevant contemporary problems of studying the environment: climate change in regional and global scales; monitoring, modeling and forecasting of physical processes in the atmosphere, inland and ocean waters; influence of anthropogenic activity on various processes in the biosphere, atmosphere and hydrosphere of the Earth. The material is grouped by specialty. The "Chronicle" section covers the events of the University life.

The Journal is intended for scientists, a broad category of environmental researchers, as well as post-graduate and graduate students of these specialties.

*The Editorial Board:*

**Chilingarov A.N.**, Grand PhD in Geography, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, President of RSHU — *Chairman*

**Mikheev V.L.**, PhD in Juridical Sciences, Associate Professor, Rector of RSHU — *Vice-Chairman*

**Leont'ev D.V.**, PhD in Juridical Sciences, Vice-Rector for Development, Acting Vice-rector for Research of RSHU — *Vice-Chairman*

**Agafonov G.I.**, Grand PhD in Engineering, Academician of the Russian Academy of Sciences, Board Chairman of "Pigment" holding company; **Fedorov M.P.**, Grand PhD in Engineering, Academician of the Russian Academy of Sciences, President of Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University; **Henry de Lumley**, PhD, Professor, Corresponding Member of the Academy of Sciences, France; **Huaqing Lu**, PhD, Professor, Vice-rector of Maritime University of Zhejiang (China); **Kambo-lov M.A.**, PhD in Juridical Sciences, Vice-president of the National Research Center «Kurchatov Institute»; **Kuleshov Iu.V.**, Grand PhD in Engineering, Professor, Vice-president of Mozhaisky Military Space Academy for academic affairs and research;

**Kvint V.L.**, Grand PhD in Economics, Professor, leading researcher of the RAS Central Economic and Mathematical Institute; **Leal W.**, PhD, Professor of Hamburg University (Germany) and Manchester University (UK); **Malaurie Jean**, PhD, Professor, Honorary President of RSHU, France; **Otryshchenko A.S.**, Grand PhD in Engineering, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of Department at Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University; **Salnikov V.G.**, Grand PhD in Geography, Professor, Dean of Geography and Natural Management Faculty of Al-Farabi Kazakh National University; **Silnikov M.V.**, Grand PhD in Engineering, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of Military-Technical Education and Security Institute of Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University; **Timofeeva A.G.**, PhD in Geography, Director of the Institute of permanent education RSHU.

*Editors:*

**Malinin V.N.**, Grand PhD in Geography, Professor — *Editor in Chief*

**Pogoreltsev A.I.**, Grand PhD in Physics and Mathematics, Professor — *Deputy Editor in Chief*

**Kondratev S.A.**, Grand PhD in Physics and Mathematics — *Deputy Editor in Chief*

**Gaidukova E.V.**, PhD in Engineering — *Executive editor*

**Alekseev G.V.**, Grand PhD in Geography, Professor; **Belonenko T.V.**, Grand PhD in Geography, Professor; **Dmitriev V.V.**, Grand PhD in Geography, Professor; **Fedorova N.Iu.**, PhD in Pedagogic Sciences, Associate Professor; **Filatov N.N.**, Grand PhD in Geography, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences; **Gritsenko V.A.**, Grand PhD in Physics and Mathematics, Professor; **Hossfeld Uve**, PhD (University of Jena, Germany); **Ivanov V.V.**, Grand PhD in Physics and Mathematics, Professor; **Kudriavtsev V.N.**, Grand PhD in Physics and Mathematics, Professor; **Lobanov V.A.**, Grand PhD in Engineering, Professor; **Mokhov I.I.**, Grand PhD in Physics and Mathematics, Academician of the Russian Academy of Sciences; **Mushket I.I.**, Grand PhD in Juridical Sciences, Professor; **Pertsev N.N.**, Grand PhD in Physics and Mathematics; **Proshutinskii A.Iu.**, Grand PhD in Physics and Mathematics, USA; **Rumyantsev V.A.**, Grand PhD in Geography, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences; **Ryabchenko V.A.**, Grand PhD in Physics and Mathematics; **Smyshlyaev S.P.**, Grand PhD in Physics and Mathematics, Professor; **Tatarnikova T.M.**, Grand PhD in Engineering, Professor; **Timofeev Iu.M.**, Grand PhD in Physics and Mathematics; **Ugryumov A.I.**, Grand PhD in Geography, Professor; **Shapron B.**, PhD, leading scientist of French Research Institute for Exploitation of the Sea IFREMER (France); **Shchukin G.G.**, Grand PhD in Physics and Mathematics, Professor; **Vilfand R.M.**, Grand PhD in Engineering, Professor.

The Journal is continuation of the Journal "Proceedings of RSHU", founded in 2005. In 2010 it was included in the list of the Higher Attestation Commission in the field of "Earth Science", and in January 2020 it was renamed into the Journal "Gidrometeorologiya i ekologiya".

The Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology, and Mass Media.

Certificate III № ФС77-79574 of November 11, 2020.

Area of expertise: meteorology, hydrology, oceanology, geocology, limnology, geoinformatics, geophysics, social sciences and humanities.

Editorial Board's point of view may not be concurrent with opinion of the authors.

Subscription index 78576 in «Catalogue of the Russian press "Post of Russia"».

The Journal is indexed in the CrossRef and RSCI systems and is included in the "Russian Science Citation Index" (RSCI) database, placed on the National Electronic Library platform (<http://elibrary.ru>). Full-text versions of published articles as pdf-files are posted on the Internet for free access on the Journal's website <http://www.rshu.ru/university/notes/archive/> immediately after its publication, afterwards being available on the National electronic library website (<http://elibrary.ru>).

Any use of this Journal in whole or in part, must include the customary bibliographic citation.

Editorial Office address: 192007, Voronezhskaya str., 79, St. Petersburg, Russia. Phone: (812) 633-01-88 (421), e-mail: [rio@rshu.ru](mailto:rio@rshu.ru).

## Содержание

### Метеорология

- К.Л. Восканян, Т.И. Иванова, А.Д. Кузнецов, В.С. Никитина, О.С. Сероухова, Т.Е. Симакина.* Анализ смены периодов климатической стабильности северной территории России . . . . . 207
- Х.С. Халилова.* Оптимизация спектральных измерений малых газов атмосферы в видимом диапазоне длин волн . . . . . 221

### Гидрология

- И.Ш. Норматов, Г.Т. Фрумин, А. Хомидов.* Сезонные и высотные колебания стабильных изотопов рек Западного и Центрального Памира . . . . . 230

### Океанология

- А.В. Гуцин, Ю.Ю. Полунина.* Вклад органического вещества половых продуктов сельди-салаки *Clupea harengus tembras*, поступающих в экосистему Вислинского залива при нересте . . . . . 243

### Геоэкология

- А.А. Павловский, Г.Н. Петерсон, В.И. Шамиурин, И.В. Крапивин, К.В. Михайлов.* Об обосновании подхода к расчету выбросов парниковых газов от международного аэропорта гражданской авиации . . . . . 256

### Геоинформатика

- И.А. Куватов, И.А. Шишкин, И.В. Антонов, Н. Рабизода.* Структура территориального мониторинга и базы данных для оценки техногенной нагрузки бассейна реки Вахш (Республика Таджикистан). . . . . 267

### Обзоры

- П.И. Бухарицин, С.А. Котеньков.* Трудные перекаты Волго-Каспия. Историческая ретроспектива. Часть I (IX—XIX вв.) . . . . . 283
- Т.И. Малова.* К созданию репрезентативного каталога наводнений Невы. . . . . 305

### Хроника

- Памяти А.И. Угрюмова . . . . . 324
- Памяти А.М. Сударикова (19.04.1956 — 29.03.2022). . . . . 326
- К 75-летию Анатолия Дмитриевича Кузнецова . . . . . 328

## Contents

### Meteorology

- K.L. Voskanyan, T.I. Ivanova, A.D. Kuznetsov, V.S. Nikitina, O.S. Seroukhova, T.E. Simakina.* Analysis of the changes of periods of climatic stability in the northern territory of the Russian Federation. . . . . 207
- H.S. Khalilova.* Optimization of spectral measurements of small atmospheric gases in the visible wavelength range. . . . . 221

### Hydrology

- I.Sh. Normatov, G.T. Frumin, Аю Homidov.* Seasonal and altitude fluctuations of stable isotopes of the Western and Central Pamirs surface water . . . . . 230

### Oceanology

- A.V. Gushchin, Y.Yu. Polunina.* The contribution of the organic matter of the reproductive products of herring herring *Clupea harengus* membras entering the ecosystem of the Vistula Lagoon during spawning . . . . . 243

### Geocology

- A.A. Pavlovskii, G.N. Peterson, V.I. Shamshurin, I.V. Krapivin, K.V. Mikhailov.* On the justification for the approach to calculating greenhouse gas emissions from the International Civil Aviation Airport . . . . . 256

### Geoinformatics

- I.A. Kuvatov, I.A. Shishkin, I.V. Antonov, N. Rabizoda.* Territorial monitoring structure and database for the assessment of technogenic load in the Vakhsh River basin (Republic of Tajikistan). . . . . 268

### Reviews

- P.I. Bukharitsin, S.A. Koten'kov.* Hard rifts of the Volga-Caspian: a historical retrospective. Part I (IX—XIX centuries). . . . . 283
- T.I. Malova.* Representative Catalog of the Neva Floods . . . . . 305

- Chronicle.** . . . . . 324

Гидрометеорология и экология. 2022. № 67. С. 207—220.  
Hydrometeorology and Ecology. 2022; (67): 207—220.

## ***METEOROLOGIA***

Научная статья  
УДК 551.582(470.1/.22)  
doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-207-220

### **Анализ смены периодов климатической стабильности северной территории России**

***К.Л. Восканян, Т.И. Иванова, А.Д. Кузнецов,  
В.С. Никитина, О.С. Сероухова, Т.Е. Симакина***

Российский государственный гидрометеорологический университет,  
kuznetsov1946@inbox.ru

*Аннотация.* В работе приводится анализ использования среднегодовой температуры воздуха в качестве индикатора климатических изменений. Регионом для проведения исследования была выбрана северная область Европейской территории Российской Федерации, преимущественно Заполярье. С использованием алгоритма, ранее апробированного авторами в других публикациях, определяются моменты времени смены параметров временных трендов (положение «точки бифуркации») температуры на 18 метеорологических станциях. Найденные «точки бифуркации» указывают на время наступления климатических изменений. Выделены две группы станций: в первой, состоящей из 12 станций, даты «точек бифуркации» наблюдались в 1940—1942 гг., во второй, включающей 6 станций, — после 1955 г.

*Ключевые слова:* изменение климата, индикаторы климатических изменений, точка бифуркации, тренд, среднегодовая температура воздуха.

*Для цитирования:* Восканян К.Л., Иванова Т.И., Кузнецов А.Д., Никитина В.С., Сероухова О.С., Симакина Т.Е. Анализ смены периодов климатической стабильности северной территории России // Гидрометеорология и экология. 2022. № 67. С. 207—220. doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-207-220.

## ***METEOROLOGY***

Original article

### **Analysis of the changes of periods of climatic stability in the northern territory of the Russian Federation**

***K.L. Voskanyan, T.I. Ivanova, A.D. Kuznetsov,  
V.S. Nikitina, O.S. Seroukhova, T.E. Simakina***

Russian State Hydrometeorological University, kuznetsov1946@inbox.ru

*Summary.* The paper provides an analysis of the use of the average annual air temperature as an indicator of climate change in the northern part of the Russian Federation. The northern region of the

European Russian Federation, mainly the Arctic, was chosen as the study area, since research in this region is significant for the economic and other sustainable development of the country. Using an algorithm previously tested by the authors in other publications, the time points of changing the parameters of time trends (position of the bifurcation point) of temperature at eighteen meteorological stations have been determined. The found bifurcation points indicate the time of onset of climate change. Also, the position of the bifurcation point indicates the nature of the change in the behavior of the climatic variable. A cluster analysis of the selected stations has been carried out according to the date of occurrence of the bifurcation points, showing the possibility of dividing the study area into regions with different behavior of the studied climatic characteristics. Such a division makes it possible to analyze in detail local climatic processes and the nature of the behavior of climatic characteristics synchronously with the behavior of these characteristics at neighboring observation points. Two groups of stations have been distinguished: the dates of the bifurcation points are observed in 1940—1942 in the first group, consisting of 12 stations, and after 1955 in the second, which includes 6 stations. Moreover, 7 stations, where climatic changes occur almost synchronously, have turned out to be located in the area of the Kola Peninsula, which may indicate synchronous climatic changes in this region. Regularities between the temporal course of average annual air temperatures and the geographical location of the observation point for the climatic value are studied, and recommendations are given on the use of the identified regularities in predicting climate change in the northern regions of the Russian Federation.

*Keywords:* climate change, climate change indicators, bifurcation point, trend, mean annual air temperature.

*For citation:* Voskanyan K.L., Ivanova T.I., Kuznetsov A.D., Nikitina V.S., Seroukhova O.S., Simakina T.E. Analysis of the changes of periods of climatic stability in the northern territory of the Russian Federation. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2022; (67): 207—220. [In Russian]. doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-207-220.

## Введение

В настоящее время исследование временных рядов метеорологических величин имеет большую актуальность, поскольку позволяет анализировать изменение климата Земли в современный период и в более древние времена. Ввиду такой популярности, на сегодняшний день существует большое количество работ, например [1—5], посвященных анализу поведения трендов временных рядов на их отдельных участках.

Задача оптимального построения трендов на заданном отрезке временного ряда достаточно сложна и не имеет однозначного решения, поскольку по одному и тому же набору данных можно построить множество трендов. Также нельзя не учитывать, что конкретный вид трендов во многом будет зависеть от методики выбора моментов времени во временном ряду, определяющих границы интервалов с устойчивой тенденцией изменений [4, 6].

Основной целью данной работы является исследование региональной особенности изменчивости среднегодовой температуры воздуха, которая в данной работе используется в качестве индикатора климатических изменений. Регионом исследования выбрана северная область Российской Федерации, преимущественно Заполярье. Однако, для сравнения сходства и отличий в тенденциях изменения среднегодовой температуры воздуха также рассматривались станции, лежащие в соседних с Полярным кругом регионах.

К динамике климата данного региона в последние годы приковано внимание авторов многих публикаций [7—10]. Несмотря на достаточно низкие



среднегодовые температуры воздуха, именно здесь в последние десятилетия потепление климата происходило быстрее и масштабнее, чем в среднем по Земному шару. Так, согласно данным Росгидромета [6], скорость современного роста глобальной температуры составила за последние 40 лет около  $0,17\text{ }^{\circ}\text{C}$  за 10 лет. Температура на территории России повышалась за тот же срок на  $0,45\text{ }^{\circ}\text{C}$  за 10 лет, особенно быстрый рост наблюдается в Арктике —  $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  за 10 лет.

Изучение вопроса климатических изменений в большинстве публикаций основано на анализе многолетних временных рядов метеорологических параметров с помощью моделей монотонного изменения в виде тренда или цикла и ступенчатых изменений, характеризующих переходы от одного стационарного состояния к другому [10]. Если рассмотреть имеющиеся в литературе оценки временной изменчивости среднегодовой температуры, то большинство авторов останавливается лишь на оценке знака и скорости наблюдаемых климатических изменений в целом за весь период исследований, без анализа их «тонкой» структуры. При описании глобальной температуры воздуха по всему земному шару использование монотонного тренда оправдано, поскольку такая температура имеет большую временную инерцию. Климатические изменения среднегодовой температуры для определенной территории с конкретными местными особенностями имеют меньшую временную инерционность и требуют другого подхода [2]. Таким образом, характер выявляемых климатических изменений может зависеть от пространственного масштаба обобщения данных.

Цель данной работы – определить, в какой момент времени наступает смена характера протекания климатических процессов в ряде пунктов на северной территории России. В качестве индикатора климатической изменчивости были использованы временные ряды среднегодовой температуры воздуха. С использованием такого индикатора определение дат осуществлялось по методике, изложенной в работе [2].

### **Исходные материалы и методика исследования**

Для анализа поведения значений среднегодовой температуры воздуха использовались данные 18 станций за период 1940—2005 гг. [11]. Географическое расположение станций представлено на рис. 1.

Разделение временного ряда метеорологической величины на отдельные участки подразумевает под собой процесс нахождения моментов резкого изменения параметров временных трендов, такие моменты условно названы «точками бифуркации» (ТБ) [2]. Момент изменения характера климатических процессов можно выявить с помощью рассматриваемого в работах [2—3] алгоритма. Такой подход позволяет исследовать региональную изменчивость климата, используя среднегодовую температуру воздуха как индикатор такой изменчивости.

В основе примененного алгоритма определения положения «точки бифуркации» лежит деление временного ряда на отрезки и замена отрезков временного ряда их математическими моделями. В качестве таких моделей могут использоваться полиномы разных степеней (начиная с нулевой степени и т.д.). При таком



Рис. 1. Географическое расположение станций, выбранных для исследования:  
 1 — Кандалакша; 2 — Кемь; 3 — Веребье; 4 — Вытегра; 5 — Онега; 6 — Архангельск;  
 7 — Койнас; 8 — Усть-Цильма; 9 — Бисер; 10 — Няксимволь; 11 — Березово; 12 — остров  
 Диксон; 13 — Енисейск; 14 — Красноярск; 15 — Минусинск; 16 — Хатанга; 17 — Аян;  
 18 — остров Врангеля.

Fig. 1. Geographic location of the stations selected for research:

1 — Kandalaksha; 2 — Kem; 3 — Verebye; 4 — Vytegra; 5 — Onega; 6 — Arkhangelsk; 7 — Koinas;  
 8 — Ust-Tsilma; 9 — Biser; 10 — Nyaksimvol; 11 — Berezovo; 12 — Dixon Island; 13 — Yeniseisk;  
 14 — Krasnoyarsk; 15 — Minusinsk; 16 — Khatanga; 17 — Ayan; 18 — Wrangel Island.

способе каждая степень полинома определяет геометрическую форму отрезков временного ряда от одной ТБ до другой [2—3].

Сумма отклонений реальных значений температуры от модельных для отрезков до и после «точки бифуркации» определяет параметр  $SS$ :

$$SS = \sum_{i=1}^{n_1} (a_{01} + a_{11}i - Y_i)^2 + \sum_{i=n_1+1}^{n_2} (a_{02} + a_{12}i - Y_i)^2,$$

где  $a_{01}$ ,  $a_{11}$  и  $a_{02}$ ,  $a_{12}$  — коэффициенты линейного временного тренда двух отрезков [от 1 до  $n_1$ ] и [от  $n_1+1$  до  $n_2$ ] внутри исследуемого временного ряда общей длиной  $n_2$ ;  $Y_i$  —  $i$ -ое значение временного ряда.

Параметр  $SS$  вычисляется для всех возможных разбиений временного ряда. Минимальное значение  $SS$  соответствует положению «точки бифуркации». Значимость использования данной метрики более подробно описана в работах [2—3].

### Применение методики поиска «точки бифуркации» для временных рядов среднегодовых температур воздуха

Временной ход среднегодовой температуры воздуха на станции Кандалакша и графическая визуализация временного хода метрики  $SS$  представлены на

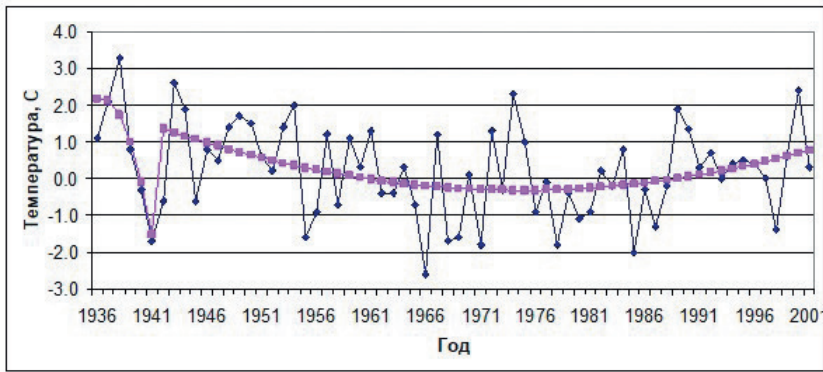


Рис. 2. Временной ход среднегодовых значений температуры воздуха на станции Кандалакша и его аппроксимация полиномами второй степени.

Fig. 2. Time variation of mean annual temperature values at Kandalaksha station and its approximation by polynomials of the second degree.

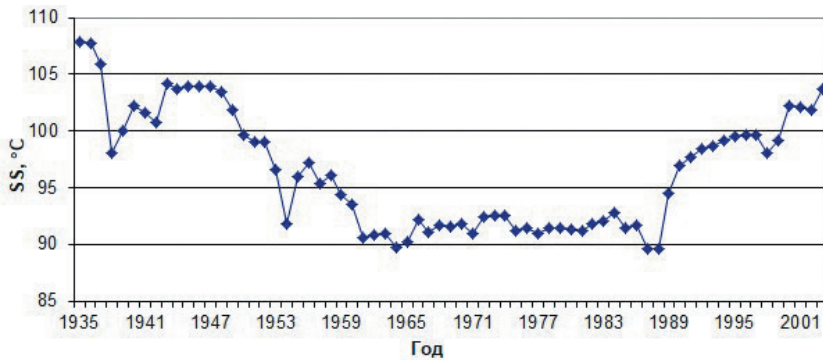


Рис. 3. Распределение метрики SS для станции Кандалакша (использован полином первой степени).

Fig. 3. Distribution of the SS metric for the Kandalaksha station (a polynomial of the first degree was used).

рисунках 2 и 3. Кривая распределения метрики  $SS$  не позволяет однозначно определить «точку бифуркации». Из рис. 3 видно, что существуют промежутки на кривой, где параметр  $SS$  на протяжении какого-то временного периода сохраняет почти постоянное значение и имеет несколько локальных минимумов, каждый из которых может являться предполагаемой «точкой бифуркации». Следовательно, корректный вывод о дате смены господствующего процесса на данной станции сделать нельзя.

Чтобы разрешить вышеописанную проблему и четко определить дату наступления ТБ на данной станции необходимо провести аппроксимацию временного

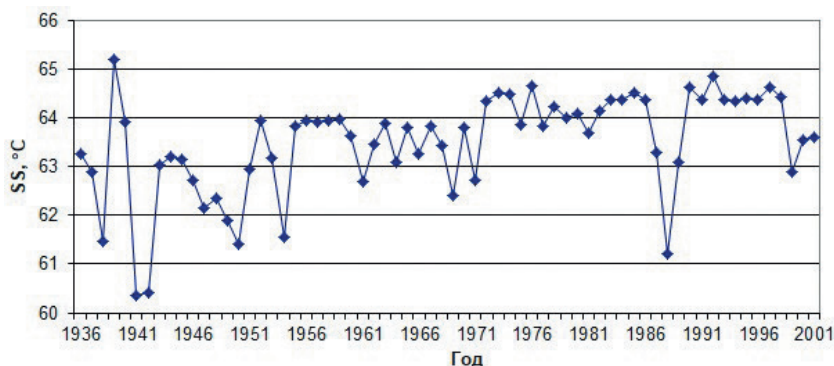


Рис. 4. Распределение метрики SS для станции Кандалакша (использован полином второй степени).

Fig. 4. Distribution of the SS metric for the Kandalaksha station (a polynomial of the second degree was used).

хода значений среднегодовых температур полиномом второй степени. В таком случае кривая распределения метрики SS (рис. 4) имеет четкий минимум в 1941 г., который будет являться переломным в межгодовой изменчивости температуры воздуха. Результат аппроксимации среднегодовой температуры воздуха на станции Кандалакша полиномом второй степени также представлен на рис. 2 фиолетовой кривой.

Отметим, что до наступления «точки бифуркации» температура на данной станции понижалась, однако, после 1941 г. процесс убывания пошел гораздо медленнее и вскоре сменился на противоположный — приблизительно с 1976 г. значения температуры начали возрастать с небольшой скоростью, что свидетельствует о потеплении в районе этой станции.

Учитывая пример, описанный выше, следует отметить, что в некоторых случаях использование полинома первой степени не является целесообразным, поскольку не дает достаточной информации о предполагаемых «точках бифуркации» метеорологических процессов. Однако, такие случаи редки и легко обнаруживаются с помощью анализа метрики SS как функции рассматриваемого временного промежутка. Это подтверждается анализом даты наступления ТБ на станции Кемь. Использование как линейного, так и квадратичного полинома дает аналогичный результат — минимум метрики SS приходится на 1942 г. (рисунки 5 и 6).

Таким образом, созданный авторами математический аппарат позволяет не только определить дату наступления «точек бифуркации» в той или иной области, но также выделить ряд «подозрительных» точек, которые при более углубленном исследовании также могут оказаться дополнительными «точками бифуркации».

Для поиска ТБ в рядах температур воздуха на остальных станциях использовалась аппроксимация только полиномом первой степени, поскольку метрика SS

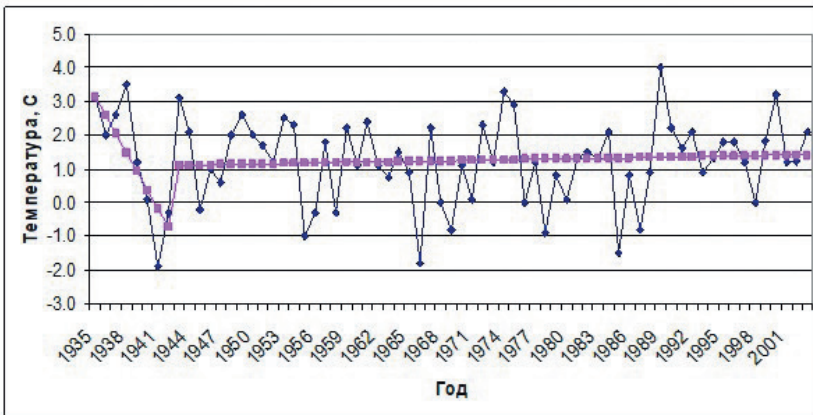


Рис. 5. Временной ход среднегодовых значений температуры на станции Кемь и кривая его аппроксимации полиномом первой степени.

Fig. 5. Time variation of mean annual temperature values at Kem' station and curve of its approximation by a polynomial of the first degree.

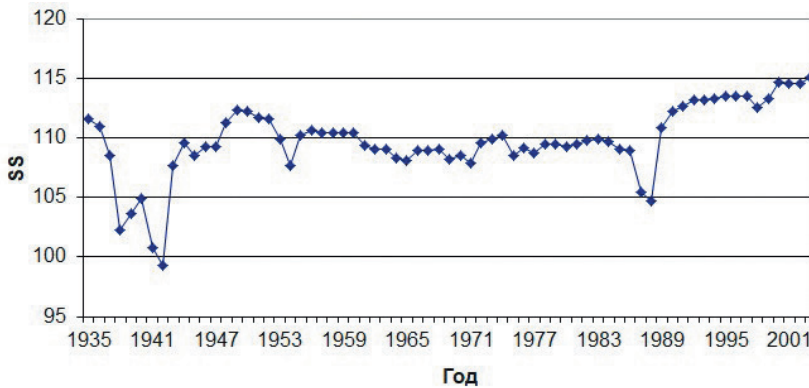


Рис. 6. Распределение метрики SS для станции Кемь (использован полином второй степени).

Fig. 6. Distribution of the SS metric for the Kem' station (a polynomial of the second degree was used).

на этих станциях имела четкий минимум и, тем самым, давала однозначный ответ. На рис. 7 представлены результаты аппроксимации временных рядов температуры воздуха для остальных станций.

Даты наступления «точек бифуркации» для всех станций рассматриваемого региона представлены в табл. 1. Здесь же даны параметры двух трендов, описывающих тенденции до ТБ и после. Второй коэффициент представляет собой скорость изменения температуры на соответствующем отрезке.

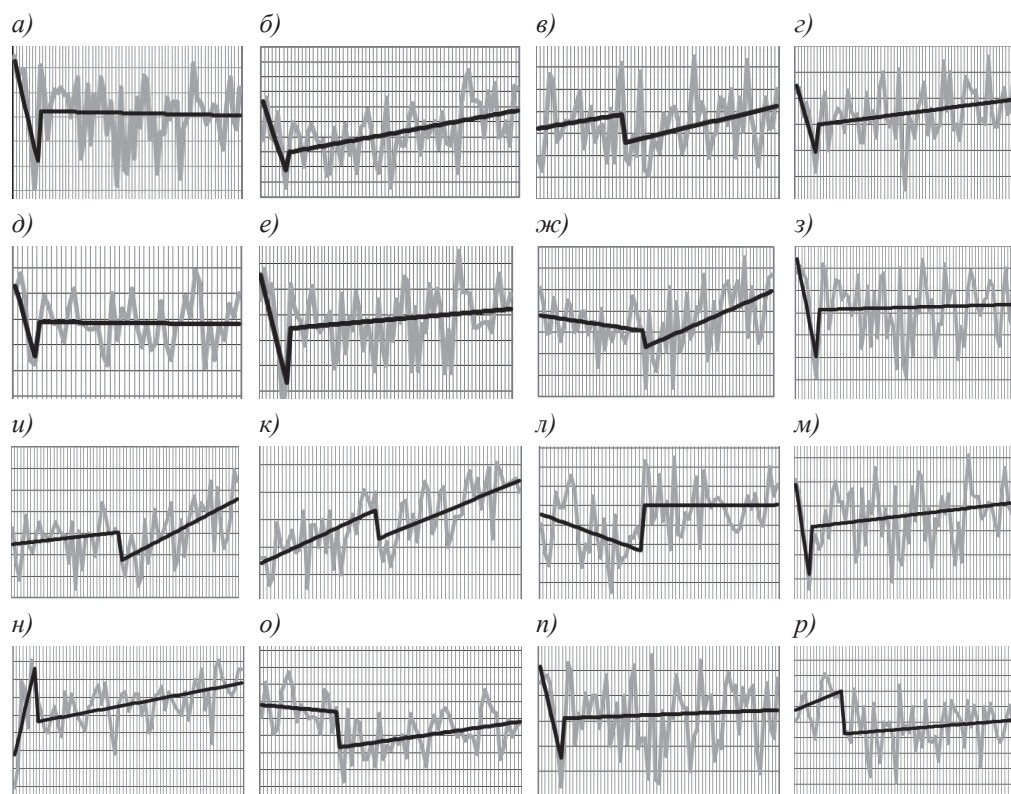


Рис. 7. Временной ход среднегодовых значений температуры воздуха и его аппроксимация полиномами первой степени на станциях:

*а)* Архангельск; *б)* Аян; *в)* Берёзово; *г)* Бисер; *д)* Веребье; *е)* Вытегра; *ж)* Енисейск; *з)* Койнас; *и)* Красноярск; *к)* Минусинск; *л)* Няксимволь; *м)* Онега; *н)* остров Врангеля; *о)* остров Диксон; *п)* Усть-Цильма; *р)* Хатанга.

Fig. 7. Time variation of mean annual air temperatures and its approximation by polynomials of the first degree at the stations (from left to right and from top to bottom):

*a)* Arkhangelsk; *b)* Ayan; *v)* Berezovo; *g)* Biser; *d)* Verebye; *e)* Vytegra; *zh)* Yeniseisk; *z)* Koinas; *u)* Krasnoyarsk; *k)* Minusinsk; *l)* Nyaksimvol; *m)* Onega; *n)* Wrangel Island; *o)* Dixon Island; *p)* Ust-Tsilma; *r)* Khatanga.

Результаты, представленные в табл. 1, позволяют провести разделение станций на две группы по дате ТБ: 1940-е годы и позже 1956-го. На схеме, представленной на рис. 8, станции первой группы, где ТБ произошла в 40-е годы прошлого века, представлены квадратами красного цвета, второй группы — ТБ после 1956 г. — отмечены кружками синего цвета.

На схеме расположения станций видно, что можно выделить три области — западную и восточную, в которых смена климатических процессов произошла в 1940-е годы, и центральную — с более поздней датой ТБ.

Таблица 1

Даты наступления «точек бифуркации» для выбранных станций  
 Dates of occurrence of bifurcation points for selected stations

Название станции	Год наступления ТБ	Коэффициенты полинома	
		до ТБ ( $a_{01}, a_{11}$ )	после ТБ ( $a_{02}, a_{12}$ )
Архангельск	1942	4,40; -0,60	1,30; 0,00
Аян	1941	-1,10; -0,40	-3,70; 0,02
Березово	1962	-3,80; 0,03	-5,50; 0,04
Бисер	1941	1,30; -0,40	-1,20; 0,02
Веребье	1941	6,70; -0,70	3,90; 0,00
Вытегра	1942	5,80; -0,60	2,30; 0,01
Енисейск	1965	-1,10; -0,02	-5,00; 0,07
Кандалакша	1941	1,30; -0,04	-0,20; 0,01
Кемь	1942	4,20; -0,60	1,04; 0,01
Койнас	1941	2,90; -0,70	-0,90; 0,00
Красноярск	1967	0,40; 0,02	-3,10; 0,08
Минусинск	1965	-0,70; 0,06	-1,60; 0,06
Няксимволь	1941	-12,30; -0,07	-12,00; 0,00
Онега	1941	4,70; -0,90	1,04; 0,02
остров Врангеля	1941	-15,90; 0,80	-12,70; 0,04
остров Диксон	1956	-10,10; -0,02	-13,40; 0,03
Усть-Цильма	1941	1,40; -0,60	-1,90; 0,01
Хатанга	1956	-12,40; 0,09	-14,00; 0,02

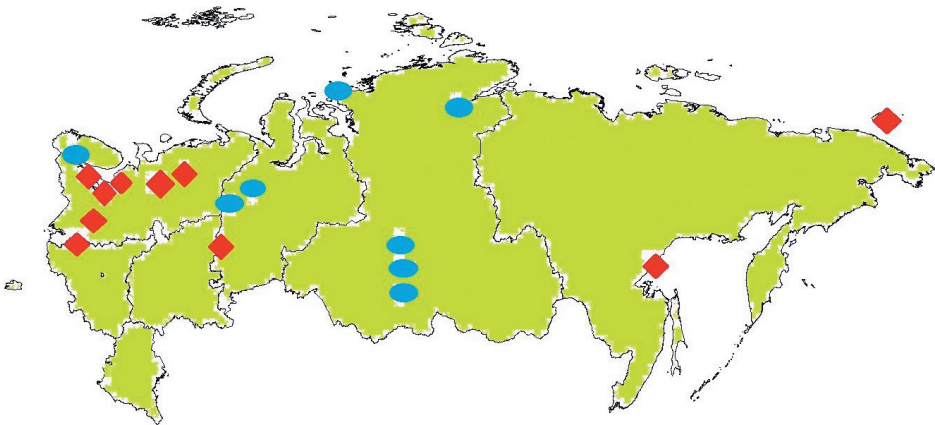


Рис. 8. Географическое расположение станций согласно дате наступления «точки бифуркации».

Fig. 8. Geographical location of stations according to the date of the “bifurcation point”.

### Обсуждение результатов

Исследуя первую группу станций, сформированную по дате наступления смены характера климатических процессов, можно отметить, что на трех из них — в Кандалакше, Веребье и Усть-Цильме — до даты наступления «точки бифуркации» в 1941 г. наблюдалась тенденция к понижению среднегодовой температуры воздуха. Однако, после смены господствующих климатических процессов, ситуация изменилась. Так, на станциях Кандалакша и Усть-Цильма среднегодовая температура воздуха стала повышаться, в то время как на станции Веребье — понижение данной климатической характеристики продолжилось.

На станциях Кемь, Онега и Архангельск «точка бифуркации» наступает в 1942 г. До даты наступления ТБ характер изменения среднегодовой температуры воздуха одинаков для всех станций — наблюдалось устойчивое понижение, однако, далее процессы меняются. На станциях Кемь и Онега начинается повышение значений среднегодовых температур, а на станции Архангельск — существенное понижение.

Станции Няксимволь, Берёзово, остров Диксон характеризуются датой наступления «точки бифуркации» после 1955 г. На станциях Няксимволь и острове Диксон поведение среднегодовой температуры воздуха идентично как до, так и после наступления «точки бифуркации» — сначала устойчивое падение, затем устойчивый рост. Однако, на станции Берёзово ситуация противоположная — здесь после ТБ наблюдается устойчивый рост значений среднегодовых температур.

Такие различия в поведении исследуемого климатического параметра внутри каждого кластера могут быть объяснены наличием вблизи каждого из пунктов наблюдения местных особенностей. Например, станции Кандалакша, остров Диксон и Кемь находятся вблизи водных объектов, что значительно влияет на временной ход всех климатических характеристик в данных пунктах. Также нельзя недооценивать антропогенный фактор — например, увеличение количества заводов в Архангельске или рост численности населения в пункте Берёзово.

Представляет интерес сравнить поведение среднегодовой температуры воздуха на двух островных станциях — о. Врангеля и о. Диксон. До наступления «точки бифуркации» на станции остров Диксон наблюдалось падение температуры и рост на станции остров Врангеля. После того как произошел переломный момент в климатической циркуляции, поведение величины среднегодовой температуры воздуха стало идентичным — в обоих случаях наблюдается ее устойчивый рост.

Станции, располагающиеся в Южной Сибири (Енисейск, Красноярск и Минусинск), также целесообразно анализировать вместе ввиду достаточно близкого географического расположения. В случае Красноярска и Минусинска до наступления «точки бифуркации» наблюдался рост значений среднегодовых температур. Здесь следует отметить, что на станции Минусинск рост данной характеристики был более выражен, что может объясняться более южным положением станции. После наступления «точки бифуркации» рост среднегодовых температур на



данных станциях продолжился приблизительно с одинаковой скоростью. В случае Енисейска до наступления «точки бифуркации» среднегодовая температура характеризовалась тенденцией к небольшому уменьшению значений, но после наступления переломного момента, также как и на двух предыдущих станциях, здесь начался плавный рост значений среднегодовых температур из года в год. Несоответствие характера поведения данной метеорологической величины до наступления «точки бифуркации» на станции Енисейск со станциями Минусинск и Красноярск может быть вызвано различным расположением станций по долготе и, следовательно, различиями в местной атмосферной циркуляции в данных районах.

Метеорологическая станция Хатанга расположена в северной Сибири за Полярным кругом. До смены характера процесса наблюдался медленный рост температур воздуха, который после даты «точки бифуркации» продолжился, но более медленными темпами. Тем не менее, здесь все-таки можно говорить о грядущем потеплении. Похожий характер изменений наблюдался в ряде станций южной Сибири, а также на станции Берёзово.

Станции Вытегра и Бисер имеют различное географическое положение, однако, в результате анализа, было выявлено сходство в характере поведения метеорологических процессов, происходящих в данных областях. На станции Вытегра 1942 г. характеризуется наступлением «точки бифуркации». До переломного момента значения среднегодовой температуры воздуха претерпевали резкое падение, а далее после смены характера преобладающего процесса началось плавное возрастание температуры. Практически та же самая картина отмечается при анализе поведения среднегодовой температуры на станции Бисер — «точка бифуркации» наблюдается в 1941 г., до ее наступления значения среднегодовых температур резко понижаются, а далее, после перехода через «точку бифуркации», происходит рост температуры. Следовательно, в обоих случаях можно говорить о потеплении в данных областях, которое может быть вызвано рядом причин, уже упомянутых выше.

Станция Аян расположена в Хабаровском крае непосредственно у побережья Охотского моря, которое, безусловно, должно влиять на метеорологические параметры, в том числе на температуру в данном регионе. До смены господствующих процессов наблюдалось резкое падение среднегодовой температуры воздуха, тогда как после наступления «точки бифуркации» поведение температуры изменилось — наблюдался ее достаточно быстрый устойчивый рост. Подобный характер распределения среднегодовых температур был отмечен также на станциях Усть-Цильма, Онега, Вытегра и Бисер и, вероятно, может быть объяснен теми же причинами.

### **Заключение**

В ходе данного исследования был создан архив данных среднегодовой температуры воздуха для исследуемых регионов, проработаны существующие методики, позволяющие оценить наличие изменений климата, а также определить

момент наступления данных изменений. С помощью созданной авторами компьютерной программы была выбрана метрика, наилучшим образом определяющая момент наступления «точки бифуркации». Анализируя распределение по территории дат наступления «точки бифуркации» в рядах среднегодовой температуры воздуха, можно отметить, что характер долговременной тенденции температуры на 11 станциях изменился в период 1940—1942 гг., а на 7 станциях — после 1955 г. Если же рассматривать непосредственно приполярные и заполярные регионы Европейской части территории Российской Федерации, то можно сказать, что на 6 станциях (Кандалакша, Кемь, Онега, Веребье, Архангельск, Усть-Цильма) характер долговременной тенденции температуры изменился в 1941—1942 гг., а на трех станциях (Няксимволь, Березово, остров Диксон) — после 1955 г.

Полученные в работе характеристики изменений температуры воздуха могут быть использованы при прогнозе состояния вечной мерзлоты, опасных метеорологических и гидрологических явлений на территории европейской части Российской Федерации. Экстраполяция существующих трендов должна позволить предсказать изменения частоты и силы экстремальных гидрометеорологических явлений в будущем, оказать помощь в оценке экономических рисков при освоении новых территорий.

### Список литературы

1. *Малинин В.Н.* Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2008. 407 с.
2. *Кузнецов А.Д., Сероухова О.С., Симакина Т.Е.* Влияние метрик на определение точек бифуркации во временных рядах метеорологических величин // Гидрометеорология и экология (Ученые записки РГГМУ). 2019. № 59. С. 28—42. doi: 10.33933/2074-2762-2020-59-28-40.
3. *Восканян К.Л., Кузнецов А.Д., Сероухова О.С., Симакина Т.Е.* Оценка возможностей метода аналогов для текущего прогноза температуры воздуха // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Прикладная математика. 2019. № 1 (58). С. 101—116. doi: 10.26456/vtrpmk528.
4. *Yvonne M., Outa G., Olago D., Opondo M.* Trends in climate variables (temperature and rainfall) and local perceptions of climate change in Lamu, Kenya // *Geography, Environment, Sustainability*. 2020. Vol. 13, No. 3. P. 496—504. doi: 10.24057/2071-9388-2020-24.
5. *Asfaw A., Simane B., Hassen A., Bantider A.* Variability and series trend analysis of rainfall and temperature in northcentral Ethiopia: A case study in Woleka sub-basin // *Weather and Climate Extremes*. 2018. Vol. 19. P. 29—41. doi: 10.1016/j.wace.2017.12.002.
6. *Бедрицкий А.И.* Результаты исследований изменения климата России. М., 2005. 180 с.
7. *Виноградова В.В.* Воздействие глобального потепления на суровость климата северных и восточных территорий России в 80-е гг. XX века // *Известия РАН. Сер. География*. 1997. № 2. С. 126—132.
8. *Кириллина К.С., Лобанов В.А.* Оценка современных климатических изменений температуры воздуха на территории республики Саха (Якутия) // *Ученые записки РГГМУ*. 2015. № 38. С. 137—152.
9. *Кононова Н.К., Хмелевская Л.В.* Многолетние колебания дат начала и продолжительности циркуляционных сезонов внетропических широт Северного полушария // *Известия РАН. Сер. Геогр.* 2011. № 3. С. 43—62.
10. *Лобанов В.А., Тоцакова Г.Г.* Особенности и причины современных климатических изменений в России // *Географический вестник. Метеорология*. 2016. № 3(38). С. 80—89.
11. Термограф: Интернет-ресурс. URL: <http://thermograph.ru> (дата обращения 15.12.2021).

## References

1. Malinin V.N. *Statisticheskiye metody analiza gidrometeorologicheskoy informatsii*. Statistical methods for the analysis of hydrometeorological information. St. Petersburg: Russian State Hydrometeorological University, 2008: 408 p. [In Russian].
2. Kuznetsov A.D., Seroukhova O.S., Simakina T.E. Influence of metric on determination of bifurcation points in time series of meteorological values. *Uchenye Zapiski RGGMU*. Scientific notes RSHU. 2009, 11: 91—100. doi: 10.33933/2074-2762-2020-59-28-40. [In Russian].
3. Voskanyan K.L., Kuznetsov A.D., Seroukhova O.S., Simakina T.E. Evaluation of the capabilities of the analogue's method for the current air temperature forecast. *Vestnik TvGU*. Bulletin of Tver State University, Series "Applied Mathematics". 2019, 1 (58): 101—116. doi: 10.26456/vtppmk528. [In Russian].
4. Yvonne M., Outa G., Olago D., Opondo M. Trends in climate variables (temperature and rainfall) and local perceptions of climate change in Lamu, Kenya. *Geography, Environment, Sustainability*. 2020, 13, 3: 496—504. doi: 10.24057/2071-9388-2020-24.
5. Asfaw A., Simane B., Hassen A., Bantider A. Variability and series trend analysis of rainfall and temperature in northcentral Ethiopia: A case study in Woleka sub-basin. *Weather and Climate Extremes*. 2018, 19: 29—41. doi: 10.1016/j.wace.2017.12.002.
6. Bedritskii A.I. *Rezultaty issledovaniy izmeneniya klimata Rossii*. The results of researching on climate change in Russia. Moscow, 2005. 180. [In Russian].
7. Vinogradova V.V. The impact of global warming on the severity of the climate of the northern and eastern territories of Russia in the 80s. XX century. *Izvestia RAN. Ser. Geografiya*. Proceedings RAN. Ser. Geography. 1997, 2: 126—132. [In Russian].
8. Kirillina K.L., Lobanov V.A. Assessment of modern climatic changes in air temperature on the territory of the Republic of Sakha (Yakutia). *Uchenye Zapiski RGGMU*. Scientific notes RSHU. 2015, 38: 137—152. [In Russian].
9. Kononova N.K., Hmelevskaya L.V. Long-term fluctuations in the dates of the beginning and duration of circulation seasons in extratropical latitudes of the Northern Hemisphere. *Izvestia RAN. Ser. Geografiya*. Proceedings RAN. Ser. Geography. 2011, 3: 43—62. [In Russian].
10. Lobanov V.A., Toshchakova G.G. Features and causes of modern climate change in Russia. *Geograficheskiy vestnik. Meteorologiya*. Geographic Bulletin. Meteorology. 2016, 3(38): 80—89. [In Russian].
11. Thermograph: Internet resource. Available at: <http://thermograph.ru> (accessed 12.15.2021).

## Информация об авторах

Восканян Карина Левановна, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры экспериментальной физики атмосферы Российского государственного гидрометеорологического университета; [kvosia@mail.ru](mailto:kvosia@mail.ru).

Иванова Татьяна Игоревна, студентка 3 курса Российского государственного гидрометеорологического университета; [ivanowat04@gmail.com](mailto:ivanowat04@gmail.com).

Кузнецов Анатолий Дмитриевич, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры экспериментальной физики атмосферы Российского государственного гидрометеорологического университета; [kuznetsov1946@inbox.ru](mailto:kuznetsov1946@inbox.ru).

Никитина Виктория Сергеевна, студентка 2 курса магистратуры Российского государственного гидрометеорологического университета; [victoriaflint01@gmail.com](mailto:victoriaflint01@gmail.com).

Сероухова Ольга Станиславовна, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры метеорологии, климатологии и охраны атмосферы Российского государственного гидрометеорологического университета; [serouhova@inbox.ru](mailto:serouhova@inbox.ru).

Симакина Татьяна Евгеньевна, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры экспериментальной физики атмосферы Российского государственного гидрометеорологического университета; [tatiana.simakina@gmail.com](mailto:tatiana.simakina@gmail.com).

## Information about authors

Voskanyan Karina Levanovna, PhD (Phys. and Mat. Sci.), Associate Professor, Department of Experimental Atmospheric Physics, Russian State Hydrometeorological University.

*Ivanova Tatiana Igorevna*, 3d year student of Russian State Hydrometeorological University.

*Kuznetsov Anatoly Dmitrievich*, Doctor of Sciences (Phys. and Mat.), Professor, Department of Experimental Atmospheric Physics, Russian State Hydrometeorological University.

*Nikitina Victoria Sergeevna*, 2d year master student of Russian State Hydrometeorological University.

*Seroukhova Olga Stanislavovna*, PhD (Phys. and Mat. Sci.), Associate Professor, Department of Meteorology, Climatology and Atmosphere Protection, Russian State Hydrometeorological University/

*Simakina Tatyana Evgenievna*, PhD (Phys. and Mat. Sci.), Associate Professor, Department of Experimental Atmospheric Physics, Russian State Hydrometeorological University.

**Конфликт интересов:** конфликт интересов отсутствует.

*Статья поступила 15.02.2022.*

*Принята к публикации после доработки 13.05.2022.*

*The article was received on 15.02.2022.*

*The article was accepted after revision on 13.05.2022.*

Гидрометеорология и экология. 2022. № 67. С. 221—229.  
Hydrometeorology and Ecology. 2022; (67): 221—229.

Научная статья  
УДК 551.508.95:543.4  
doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-221-229

## **Оптимизация спектральных измерений малых газов атмосферы в видимом диапазоне длин волн**

*Хадиджа Сабир гызы Халилова*

Национальная Академия Авиации, Баку, Азербайджанская Республика, x.xalilova@mail.ru

*Аннотация.* Рассмотрена задача оптимизации дневных зенитных интегрированных измерений атмосферных газов на некотором диапазоне длин волн на фоне атмосферного аэрозоля с учетом известной модификации формулы Ангстрема, данная Кингом и Бирном. Определено, что, при наличии некоторой функциональной связи между выбранной длиной волны измерений и оптической воздушной массой, т. е. временем измерений в течение дня, оптимизация измерений достигается при минимальной величине суммарной оптической толщины аэрозоля за период проводимых измерений, что равносильно повышению достоверности результатов проводимых измерений.

*Ключевые слова:* аэрозоль, оптическая толщина, оптимизация, атмосфера.

*Для цитирования:* Халилова Х.С. Оптимизация спектральных измерений малых газов атмосферы в видимом диапазоне длин волн // Гидрометеорология и экология. 2022. № 67. С. 221—229. doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-221-229.

Original article

## **Optimization of spectral measurements of small atmospheric gases in the visible wavelength range**

*Khadidzha Sabir gyzy Khalilova*

National Aviation Academy, Baku, Republic of Azerbaijan, x.xalilova@mail.ru

*Summary.* The paper considers the problem of optimizing daytime zenith integrated measurements of atmospheric gases over a certain wavelength range against the background of atmospheric aerosol, taking into account the known modification of the Angstrom formula given by King and Byrne. It has been taken into account that the coefficients available in this formula and characterizing the curvature of the characteristics of the dependence of the aerosol optical thickness on the wavelength depend on the time of day, the nature of the measurement zone (coast/continent; city /village), as well as the type of aerosol (fine, coarse). Considering the above, this article forms and solves the problem of optimizing multispectral measurements of small atmospheric gases throughout the day. During the specified time interval, the aerosol, characterized by high variability in time, introduces significant uncertainty in the results of the measurements. A method for optimizing multispectral daytime measurements of small atmospheric gases is proposed. Speaking of daytime measurements of the optical thickness of small atmospheric gases, we mean that such measurements can be carried out using a solar photometer or spectrometer. We assume that the results of the measurements carried out have a random multiplicative error due to the aerosol of the atmosphere. If

some functional relationship exists between the selected measurement wavelength and the optical air mass, i.e. the measurement time during the day, measurement optimization has been determined to be achieved at the minimum value of the total optical thickness of the aerosol during the measurement period, which is equivalent to increasing reliability of the measurement results.

*Keywords:* aerosol, optical depth, optimization, atmosphere.

*For citation:* Khalilova H.S. Optimization of spectral measurements of small atmospheric gases in the visible wavelength range. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2022; (67): 221—229. [In Russian]. doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-221-229.

## Введение

Хотя концентрация малых газов (углекислый, водяной пар, озон, метан и др.) составляет сотые доли процента по сравнению с основными газами атмосферы, они оказывают значительное влияние на климат, радиационную структуру и химическую активность атмосферы. Например, можно указать на защитную функцию стратосферного озона, который защищает все живое на Земле от губительного воздействия ультрафиолетовой радиации Солнца.

Дистанционные измерения всех малых газов в атмосфере в основном осуществляются по спектральному признаку на основе методов адсорбционной, отражательной спектроскопии. Наземные измерения общего количества различных малых газов в атмосфере проводятся с помощью спектрометров или солнечных фотометров. Основным препятствием при проведении наземных измерений малых газов являются аэрозоли и облака. Интегрированные мульти- и гиперспектральные измерения газов с малой концентрацией обычно осуществляется последовательным подключением интегрированных сигналов спектральных каналов на вход цифрового измерителя. Большое количество спектральных каналов и достаточно большое время интегрирования слабых сигналов приводит к большому временному интервалу, требуемому для проведения всех измерений на указанном интервале длин волн. В течение указанного интервала времени аэрозоль, характеризующийся высокой изменчивостью во времени, вносит значительную неопределенность в результаты проводимых измерений [1—3]. Для оценки такой неопределенности атмосферный аэрозоль в настоящее время изучается с привлечением наземных, самолетных и спутниковых средств, оснащенных различными спектрорадиометрами, а также солнечными фотометрами.

В качестве примера можно указать всемирную наземную сеть «AERONET», состоящую из 600 наземных автоматических измерительных станций [4], созданных на базе солнечного фотометра «CIMEL CE 318». Получаемые с помощью этих измерителей результаты позволяют изучать влияние аэрозоля на величину оптической радиации, поступающей на поверхность Земли, создавать физико-химические модели атмосферы, осуществлять валидацию спутниковых данных и проводить атмосферную коррекцию этих данных.

В аэрозольных измерениях в настоящее время используется разнообразный арсенал измерительных средств, к которым можно отнести следующие: вышеупомянутый солнечный / небесный радиометр CIMEL CE 318 (наземные измерительные сети AERONET, AEROCAN, PHOTONS, RIMA) [5], солнечный / небесный радиометр PREDE POMOZ (наземный измерительный сеть SKYNET) [6], прецизионный

фильтровый радиометр PFR, созданный в Швеции (PMOD/WRC) [7], радиометры SPO1A и SPO2, используемые в Национальной сети Австралии и др.

Основными параметрами, измеряемыми в глобальной сети AERONET, являются оптическая толщина аэрозоля и водяной пар в атмосфере. Цель статьи заключается в рассмотрении возможности оптимизации длительных многоспектральных измерений малых газов атмосферы путем выбора оптимальной функциональной связи между длиной волны проводимых измерений и оптической воздушной массой.

### Методы исследования

В общем случае, измерения малых газов атмосферы осуществляются на основе закона Бугера—Бера, математическое выражение которого применительно к видимой области в упрощенном виде имеет вид:

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \exp[-m(\tau_{\text{аэп}} + \tau_2)], \quad (1)$$

где  $I(\lambda)$  — оптический сигнал на входе измерителя;  $I_0(\lambda)$  — солнечная постоянная применительно к длине волны  $\lambda$ ;  $m$  — оптическая воздушная масса, зависящая от времени дня;  $\tau_{\text{аэп}}$  — оптическая толщина аэрозоля;  $\tau_2$  — оптическая толщина измеряемого газа.

Далее рассматривается случай, когда длина волны  $\lambda$  изменяется в зависимости от времени дня, или то же самое, от  $m$ . Выражение (1) представим в виде:

$$I(\lambda(m)) = I_0(\lambda(m)) \exp[-m\tau_{\text{аэп}}(\lambda(m))] \exp[-m\tau_2(\lambda(m))]. \quad (2)$$

В выражении (2) применительно к видимой области множитель  $\exp[-m\tau_{\text{аэп}}(\lambda(m))]$  можно представить как пропускание атмосферы. С позиций измерительной техники пропускание атмосферы в данном случае определяет мультипликативную погрешность  $I(\lambda(m))$ . С этой точки зрения, при проведении длительных дневных атмосферных измерений суммарный эффект аэрозольного фактора нестабильности пропускания атмосферы может быть учтен следующей логарифмической оценкой:

$$y = \ln \tau_{\text{аэп}}(\lambda(m)).$$

Хорошо известно, что базовым для измерения оптической толщины аэрозоля является формула Ангстрема [9]:

$$\tau_a(\lambda) = \beta \cdot \lambda^{-\alpha}, \quad (3)$$

где  $\beta$  — коэффициент мутности атмосферы Ангстрема, определяемый как  $\beta = \tau_a(\lambda)$  при  $\lambda = 1,0$  мкм;  $\alpha$  — показатель Ангстрема.

Несмотря на исходное предположение о постоянстве значения  $\alpha$ , исследования, проведенные в [10, 12], показали, что получаемое из (1) выражение

$$\ln \tau_a(\lambda) = \ln \beta - \alpha \ln \lambda \quad (4)$$

на практике себя не оправдывает, поэтому линия, показывающая зависимость  $\ln \tau_a(\lambda)$  от  $\ln \lambda$ , искривляется.

Аналогичные экспериментальные результаты легли в основу теоретических изысканий, проведенных в [13]. Согласно [13], зависимость между  $\ln \tau_a(\lambda)$  и  $\ln \lambda$  может быть аппроксимирована более точно следующим эмпирическим выражением:

$$\ln \tau_a(\lambda) = \alpha_0 + \alpha_1 \ln \lambda + \alpha_2 (\ln \lambda)^2. \quad (5)$$

Согласно [13], коэффициент  $\alpha_2$  характеризует кривизну линий. И также кривизна этих линий является показателем размеров аэрозольных частиц. Отрицательная кривизна линий показывает доминирование в атмосфере мелкодисперсного аэрозоля. Положительная кривизна показывает доминирование крупнодисперсного аэрозоля [14].

Согласно [14], условие доминирования крупнодисперсного аэрозоля имеет вид (размер аэрозоля  $> 1$  мкм):

$$(\alpha_2 - \alpha_1) < 1. \quad (6)$$

Условие доминирования мелкодисперсного аэрозоля (размер аэрозоля  $< 1$  мкм):

$$(\alpha_2 - \alpha_1) > 2. \quad (7)$$

При

$$2 > (\alpha_2 - \alpha_1) > 1 \quad (8)$$

считается, что большинство аэрозольных частиц имеет размер  $< 1$  мкм.

Вместе с тем, величина  $\tau_a(\lambda)$ , как и показатель Ангстрема, подвержены дневным изменениям. Согласно [15], дневное изменение показателя Ангстрема различно по двум признакам:

- 1) «берег» или «континент»;
- 2) «город» или «село».

В соответствии с результатами исследований, изложенных в [15], на различных характерных зонах, соответствующих вышеприведенным двум признакам, в городских береговых и континентальных зонах, наблюдается более плавное дневное изменение. Что касается сельской зоны, то в этом случае изменение  $\alpha$  носит более нестабильный характер.

С учетом вышеизложенного в настоящей статье формируется и решается задача оптимизации многоспектральных измерений малых газов атмосферы в течение всего дня.

Говоря о дневных измерениях оптической толщины малых газов атмосферы, нужно иметь в виду, что такие измерения могут быть проведены с помощью солнечного фотометра или спектрометра. Считаем, что результаты проводимых измерений имеют случайную мультипликативную погрешность из-за аэрозоля атмосферы. В общем случае применительно к формуле (1) оптическую толщину атмосферного аэрозоля обозначим как

$$\tau_a = f(m, \lambda, a, \beta), \quad (9)$$

где  $m$  — оптическая воздушная масса, в простейшем случае определяемая как  $\text{arccos}(z)$ ;  $z$  — зенитный угол Солнца.



Так как зенитный угол  $z$  является функцией времени, то и оптическая воздушная масса также изменяется во времени. Таким образом, изменение показателя Ангстрема во времени также означает изменение  $\alpha$  по оптической воздушной массе. Следовательно, формулу (5) можно переписать как:

$$\ln \tau_a(\lambda) = \alpha_0 + \alpha_1(m) \ln \lambda + \alpha_2(m)(\ln \lambda)^2. \quad (10)$$

В общем виде оптимизационная задача формулируется в следующем виде: минимизировать целевую функцию с учетом ограничений на управляемые переменные.

Ограничения в данном случае формируются следующим образом:

- измерения  $\tau$  выполняются в течение всего дня на разных длинах волн;
- длина волны проводимых измерений является функцией  $m$ , т. е. измерения в течение дня проводятся на разных длинах волн.

Рассмотрим следующую сумму:

$$\gamma = \sum_{i=1}^n \ln \tau_a(\lambda) = \sum_{i=1}^n \left[ \alpha_0 + \alpha_{1,i}(m) \ln \lambda(m) + \alpha_{2,i}(m) [\ln \lambda(m)]^2 \right]. \quad (11)$$

При  $n \rightarrow \infty$  сумму (11) можно представить в виде интеграла:

$$\chi = \int_1^{m_{\max}} \left[ \alpha_0 + \alpha_1(m) \ln \lambda(m) + \alpha_2(m) [\ln \lambda(m)]^2 \right] dm, \quad (12)$$

где  $\chi$  — условное обозначение целевого функционала.

Выражение (12) является целевым функционалом рассматриваемой оптимизационной задачи, цель которой является вычисление такой оптимальной функции  $\lambda(m)$ , при которой целевой функционал (12) достиг бы минимальной величины. Данная задача является типичной задачей вариационного исчисления, для решения которой следует вычислить следующее уравнение [16]:

$$\frac{d \left\{ \alpha_0 + \alpha_1(m) \ln \lambda(m) + \alpha_2(m) [\ln \lambda(m)]^2 \right\}}{d\lambda(m)} = 0. \quad (13)$$

Из условия (13) получаем:

$$\frac{\alpha_1(m)}{\lambda(m)} + \frac{2\alpha_2(m) \ln \lambda(m)}{\lambda(m)} = 0. \quad (14)$$

Из выражения (14) находим:

$$\alpha_1(m) = 2\alpha_2(m) \ln \left( \frac{1}{\lambda(m)} \right). \quad (15)$$

Из выражения (15) имеем:

$$\ln \left( \frac{1}{\lambda(m)} \right) = \frac{\alpha_1(m)}{2\alpha_2(m)} \quad (16)$$

или

$$\lambda(m) = \exp\left[-\frac{\alpha_1(m)}{2\alpha_2(m)}\right]. \quad (17)$$

Таким образом, при решении (17) целевой функционал (12) достигает экстремальной величины. Определим тип экстремума. Условие достижения максимума, согласно [16], имеет вид:

$$\chi_1 = \frac{d^2 \left\{ \alpha_0 + \alpha_1(m) \ln \lambda(m) + \alpha_2(m) [\ln \lambda(m)]^2 \right\}}{d\lambda(m)} < 0, \quad (18)$$

где  $\chi_1$  — условное обозначение второй производной интегранта, т. е. подинтегрального выражения в (12) по  $\lambda(m)$ .

С учетом (18) получим:

$$\gamma_1 = -\frac{\alpha_1(m)}{\lambda^2(m)} + 2\alpha_2(m) \left[ \frac{1}{\lambda^2(m)^2} - \frac{\ln \lambda(m)}{\lambda^2(m)} \right]. \quad (19)$$

Таким образом, условие достижения максимума имеет вид:

$$\alpha_1(m) + 2\alpha_2(m) \ln \lambda(m) > 2\alpha_2(m) \quad (20)$$

или

$$\lambda(m) = \exp\left[1 - \frac{\alpha_1(m)}{2\alpha_2(m)}\right]. \quad (21)$$

Сравнивая условия (17) и (21), приходим к выводу, что условие (21) никогда не выполняется.

Следовательно, предлагаемый метод измерений с выбором длины волны по формуле (17) в зависимости от величины  $m$  может привести к достижению минимального воздействия аэрозольной нестабильности на результат измерений.

В результате проведенной оптимизации по критерию достижения минимума интегрированной в некотором диапазоне оптической воздушной массы оптической толщины атмосферного аэрозоля получено выражение оптимальной зависимости длины волны от оптической воздушной массы, при которой критерий оптимизации достигает минимума. Это обеспечивает измерение малых газов с высокой достоверностью в течение дня.

Приведем конкретный пример использования предлагаемого метода.

Допустим, что в результате проведенного анализа получено три решения в виде:

$$\lambda_1(m) = \exp\left[-\frac{\alpha_1(m)}{2\alpha_2(m)}\right], \quad (22)$$

$$\lambda_2(m) = \exp\left[-\frac{\alpha_1(m)}{\alpha_2(m)}\right], \quad (23)$$

$$\lambda_3(m) = \exp\left[-\frac{\alpha_1(m)}{4\alpha_2(m)}\right]. \quad (24)$$

Так как выражение (22) по величине больше значения (23) и меньше (24), то верность предложенного метода можно доказать, если значения  $\ln \tau_a(\lambda)$ , вычисленные по формуле (10) с учетом (22), (23) и (24) при (22), достигнем минимума. Проведенные вычисления показывают, что это условие выполняется.

При условии (22) получено:

$$\ln \tau_a(\lambda) = a_0 - \frac{\alpha_1(m)^2}{4\alpha_2(m)}. \quad (25)$$

При условии (23) получено:

$$\ln \tau_a(\lambda) = a_0. \quad (26)$$

При условии (24) получено:

$$\ln \tau_a(\lambda) = a_0 - \frac{3\alpha_2(m)^2}{16\alpha_2(m)}. \quad (27)$$

Как видно из выражений (25), (26), (27), при условии (22) получается минимальная величина  $\ln \tau_a(\lambda)$ , а следовательно и целевого функционала (12).

Таким образом, верность предложенного метода можно считать доказанной.

### Заключение

Сформулирована и решена задача оптимизации длительных дневных измерений малых газов атмосферы в видимом диапазоне длин волн. Для анализа влияния атмосферного аэрозоля на достоверность результатов измерений используется модификация известной формулы Ангстрема, данная Кингом и Бирном. При этом учитываются, что коэффициенты, входящие в эту формулу и характеризующие кривизну характеристики  $\ln \tau_a(\lambda) = f(\ln \lambda)$ , зависят от таких параметров, как время дня, характер зоны проводимых измерений (берег / континент; город / село), тип аэрозоля (мелкодисперсный, крупнодисперсный). Согласно полученным результатам, минимизация влияния атмосферного аэрозоля на достоверность проводимых измерений малых газов может быть достигнута при выявленном порядке оптимального выбора длины волны измерений в зависимости от оптической воздушной массы.

### Список литературы

1. *Braslau N., Dave J.V.* Effect of aerosols on the transfer of solar emery through realistic model atmospheres. Partly absorbing aerosols // *J. Appl. Meteor.* 1973. Vol. 12. P. 616—619.
2. *Grassi H.* Calculated circumsolar radiations as a function of aerosol type, field of view, wavelength and optical depth // *Appl. Opt.* 1971. Vol. 10. P. 2542—2543.
3. *Kitakoga S., Inoue Y., Kuji M., Hayasaka T.* Characteristic of naerosol properties of haze and yellow sand examined from SKYNET measurements over East China Sea // *J. Meteor. Soc. Japan.* 2014. Vol. 92A. P. 57—69.

4. Holben B.N., Eck T.I., Slutsker I., Tanre D., Buis J.P., Setzer A., Vermote E., Reagan J.A., Kaufman Y.J., Nakajima T., Lavenu F., Jankowiak I., Smirnov A. AERONET – a federate instrument network and data archive for aerosol characterization // Remote Sens. Environ. 1998. Vol. 66(1). P. 1—16.
5. Dubovik O., King M.D. A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements // Journal of Geophysical Research. 2000. Vol. 105(D16). P. 20673—20696.
6. Ki D.H., Sohn B.J., Nakajima T., Takamura T., Takemura T., Choi B.C., Yoon S.C. Aerosol optical properties over east Asia determined from ground – based sky radiation measurements // Journal of Geophysical Research. 2004. Vol. 109. D02209. doi: 10.1029/2003JD003387.
7. Wehrli C. Calibrations of filter radiometers for determination of atmospheric optical depth // Metrologia. 2000. Vol. 37. P. 419—422. doi: 10.1088/0026-1394/37/5/16.
8. Mitchell R.M., Forgan B.W. Aerosol measurements in Australian outback: intercomparison of sun photometers // Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. 2003. Vol. 20. P. 54—66.
9. Angstrom A.K. On the atmospheric transmissions of sun radiation and on the dust in the air // Geogr. Ann. 1929. Vol. 12. P. 130—159.
10. Eck T.F., Holben B.N., Reid J.S., Dubovik O., Smirnov A., O'Neill N.T., Slutsker I., Kinne S. Wavelength dependence of the optical depth of biomass burning, urban and desert dust aerosols // Journal of Geophysical Research. 1999. Vol. 104. No. D24. P. 31,333—31,349.
11. Junge C.E. The size distribution and aging of natural aerosols as determined from electrical and optical measurements in the atmosphere // J. Meteorol. 1955. Vol. 12. P. 13—25.
12. Eck T.F., Holben B.N., Dubovik O., Smirnov A., Slutsker I., Lobert J.M., Ramanathan V. Column-integrated aerosol optical properties over the Maldives during the northeast monsoon for 1998—2000 // Journal of Geophysical Research. 2001. Vol. 106. No. D22. P. 28,555—28,566.
13. King M.D., Byrne D.M. A method for inferring total ozone content from spectral variation of total optical depth obtained with a solar radiometer // J. Atmos. Sci. 1976. Vol. 33. P. 2242—2251.
14. Schuster G.L., Dubovik O., Holben B.N. Angstrom exponent and bimodal aerosol size distributions // J. Geophys. Res. 2006. Vol. 111. P. 07207. doi: 10.1029/2005JD006328.
15. Lennartson E.M., Wang J., Gu J., Garcia L.C., Ge C., Gao M., Choi M., Saide P.E., Carmichael G.R., Kim J., Janz S.J. Diurnal variation of aerosol optical depth and PM<sub>2.5</sub> in South Korea: a synthesis from AERONET, satellite (GOCI), KORUS-AQ observation and the WRF-Chem model // Atmos. Chem. Phys. 2018. Vol. 18. P. 15125—15144. doi: 10.5194/acp-18-15125-2018.
16. Эльсольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. М.: Наука, 1974. 432 с.

### References

1. Braslau N., Dave J.V. Effect of aerosols on the transfer of solar energy through realistic model atmospheres. Partly absorbing aerosols. J. Appl. Meteor. 1973, 12: 616—619.
2. Grassi H. Calculated circumsolar radiations as a function of aerosol type, field of view, wavelength and optical depth. Appl. Opt. 1971, 10: 2542—2543.
3. Kitakoga S., Inoue Y., Kuji M., Hayasaka T. Characteristic of aerosol properties of haze and yellow sand examined from SKYNET measurements over East China Sea. J. Meteor. Soc. Japan, 2014, 92A: 57—69.
4. Holben B.N., Eck T.I., Slutsker I., Tanre D., Buis J.P., Setzer A., Vermote E., Reagan J.A., Kaufman Y.J., Nakajima T., Lavenu F., Jankowiak I., Smirnov A. AERONET — a federate instrument network and data archive for aerosol characterization. Remote Sens. Environ. 1998, 66(1): 1—16.
5. Dubovik O., King M.D. A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements. Journal of Geophysical Research. 2000, 105(D16): 20673—20696.
6. Ki D.H., Sohn B.J., Nakajima T., Takamura T., Takemura T., Choi B.C., Yoon S.C. Aerosol optical properties over east Asia determined from ground – based sky radiation measurements. Journal of Geophysical Research. 2004, 109, D02209. doi: 10.1029/2003JD003387.
7. Wehrli C. Calibrations of filter radiometers for determination of atmospheric optical depth. Metrologia. 2000, 37: 419—422. doi: 10.1088/0026-1394/37/5/16.

8. *Mitchell R.M., Forgan B.W.* Aerosol measurements in Australian outback: intercomparison of msun photometers. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 2003, 20: 54—66.
9. *Angstrom A.K.* On the atmospheric transmissions of sun radiation and on the dust in the air. *Georg. Ann.* 1929, 12: 130—159.
10. *Eck T.F., Holben B.N., Reid J.S., Dubovik O., Smirnov A., O'Neill N.T., Slutsker I., Kinne S.* Wavelength dependence of the optical depth of biomass burning, urban and desert dust aerosols. *Journal of Geophysical Research*. 1999, 104, D24: 31,333—31,349.
11. *Junge C.E.* The size distribution and aging of natural aerosols as determined from electrical and optical measurements in the atmosphere. *J. Meteorol.* 1955, 12: 13—25.
12. *Eck T.F., Holben B.N., Dubovik O., Smirnov A., Slutsker I., Lobert J.M., Ramanathan V.* Column-integrated aerosol optical properties over the Maldives during the northeast monsoon for 1998—2000. *Journal of Geophysical Research*. 2001, 106, D22: 28,555—28,566.
13. *King M.D., Byrne D.M.* A method for inferring total ozone content from spectral variation of total optical depth obtained with a solar radiometer. *J. Atmos. Sci.* 1976, 33: 2242—2251.
14. *Schuster G.L., Dubovik O., Holben B.N.* Angstrom exponent and bimodal aerosol size distributions. *J. Geophys. Res.* 111. 07207. doi: 10.1029/2005JD006328, 2006.
15. *Lennartson E.M., Wang J., Gu J., Garcia L.C., Ge C., Gao M., Choi M., Saide P.E., Carmichael G.R., Kim J., Janz S.J.* Diurnal variation of aerosol optical depth and PM<sub>2.5</sub> in South Korea: a synthesis from AERONET, satellite (GOCI), KORUS-AQ observation and the WRF-Chem model. *Atmos. Chem. Phys.* 2018, 18: 15125—15144. doi: 10.5194/acp-18-15125-2018.
16. *Elsgolts L.E.* *Differentsial'nyye uravneniya i variatsionnoye ischisleniye.* Differential equations and variational calculus. Moscow: Science, 1974: 432 p.

### ***Информация об авторе***

*Халилова Хадиджа Сабир гызы*, преподаватель, Национальная Академия Aviации, Баку, Азербайджанская Республика, x.halilova@mail.ru.

### ***Information about author***

*Khalilova Khadidzha Sabir gyzy*, Lecturer, National Aviation Academy, Baku, Republic of Azerbaijan

**Конфликт интересов:** конфликт интересов отсутствует.

*Статья поступила 16.12.2021.*

*Принята к публикации после доработки 20.04.2022.*

*The article was received on 16.12.2021.*

*The article was accepted after revision on 20.04.2022.*

Гидрометеорология и экология. 2022. № 67. С. 230—242.  
Hydrometeorology and Ecology. 2022; (67): 230—242.

## ***ГИДРОЛОГИЯ***

Научная статья  
УДК [556.114.679:556.12](282.255)  
doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-230-242.

### **Сезонные и высотные колебания стабильных изотопов рек Западного и Центрального Памира**

***Ином Шерович Норматов<sup>1</sup>, Григорий Тевелевич Фрумин<sup>2</sup>, Анвар Хомидов<sup>3</sup>***

<sup>1</sup>Таджикский национальный университет, г. Душанбе, Таджикистан, inomnor@mail.ru

<sup>2</sup>Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Агентство по гидрометеорологии, г. Душанбе, Таджикистан

*Аннотация.* Целью данной работы является определение основных источников атмосферных осадков в бассейнах рек Таджикистана путем изучения изменений изотопного состава ( $\delta^2\text{H}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ), распределения изотопа кислорода ( $\delta^{18}\text{O}$ ) и избытка дейтерия ( $d$ ) по высоте в реках Сурхоб и Оби-хингоу — притоках р. Вахш.

Обнаружено, что значения изотопов водорода и кислорода на диаграмме  $\delta^{18}\text{O} \sim \delta^2\text{H}$  расположены вплотную к глобальной метеоритной водной линии (GMWL), что указывает на незначительную величину испарения речных вод и обильное водоснабжение рек тальми ледниковыми водами. Также было выявлено, что средиземноморская влага, переносимая западными воздушными массами, является основным источником обеспечения Западного и Центрального Памира атмосферными осадками.

*Ключевые слова:* Памир, осадки, воздушная масса, изотоп, D-избыток, притоки.

*Для цитирования:* Норматов И.Ш., Фрумин Г.Т., Хомидов А. Сезонные и высотные колебания стабильных изотопов рек Западного и Центрального Памира // Гидрометеорология и экология. 2022. № 67. С. 230—242. doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-230-242.

## ***HYDROLOGY***

Original article

### **Seasonal and altitude fluctuations of stable isotopes of the Western and Central Pamirs surface water**

***Inom Sh. Normatov<sup>1</sup>, Grigory T. Frumin<sup>2</sup>, Anvar Homidov<sup>3</sup>***

<sup>1</sup>Tajik National University, Dushanbe, Tajikistan, inomnor@mail.ru

<sup>2</sup>A.I. Herzen Russian State Pedagogical University, Saint Petersburg, Russian Federation

<sup>3</sup>Agency for Hydrometeorology, Dushanbe, Tajikistan

*Summary.* The aim of work is to determine the main sources of atmospheric precipitation in Tajikistan river basins by studying changes in the isotopic composition ( $\delta^2\text{H}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ), the altitude distribution of the

© И.Ш. Норматов, Г.Т. Фрумин, А. Хомидов, 2022

oxygen isotope and excess deuterium (D-exc) of river waters. The objects of research were the main tributaries of the Vakhsh River, which in turn are one of the two main tributaries of the transboundary Amu Darya River in Central Asia.

A methodology for sampling water for isotope analysis developed at the University of Colorado at Boulder (USA) has been used. Water sampling from the Surkhob and Obikhingou rivers was carried out on August 5—10, 2021. Analyses of water samples were performed using a Wavelength-Scanned Cavity Ringdown Spectroscopy (WSCRDS), the average ocean water (SMOW, Vienna, IAEA) being accepted as the standard. The measurement accuracy was  $\pm 0.05\%$ .

In the Western and Central Pamirs, a shortage of precipitation is observed in summer and the main channel of the water supply of rivers is the meltwater of glaciers in which isotopic fractionation is minimal. The scatter of points on the diagram  $\delta^{18}\text{O} \sim \delta^2\text{H}$  are found to be located close to the Global Meteorite Water Line (GMWL), indicating a insignificant value of evaporation of river waters and abundant water supply of rivers by glacial melt waters.

The spatial progression of moist air from west to east follows the mechanism of its gradual isotopic easing by forming precipitation along the movement trajectory as a result of mixing of warm air mass with local cold air currents due to the orography of the mountainous terrain. The decrease of  $\delta^{18}\text{O}$  values with altitude was revealed by isotope analysis of water samples from the Surkhob and Obikhingou Rivers, taken at different altitudes.

The relationship between river water  $\delta^{18}\text{O}$  and elevation is found to be significant, with a general correlation for the Surkhob river being  $\delta^{18}\text{O} = -0.00312H - 10.49$  ( $R^2 = 0.99$ ) and for the Obikhingou river  $\delta^{18}\text{O} = -0.0006H - 13.32$  ( $R^2 = 0.88$ ). The vertical fall-off rate  $\delta^{18}\text{O}$  for the Surkhob and Obikhingou rivers is  $0.32\% / 100\text{ m}$  and  $0.007\% / 100\text{ m}$ , respectively. The observed vertical fall-off rate  $\delta^{18}\text{O}$  of the Obikhingou River is significantly lower, while that of the Surkhob River is slightly higher than the world average of  $0.28\%/100\text{ m}$ . In the Obikhingou River basin, the lower observed vertical fall-off rate of  $\delta^{18}\text{O}$  in river water is related to terrain and water resources features.

*Keywords:* Pamir, precipitation, air mass, isotope, D-excess, tributaries.

*For citation:* Normatov I.Sh., Frumin G.T., Homidov A. Seasonal and altitude fluctuations of stable isotopes of the Western and Central Pamirs surface waters. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydro-meteorology and Ecology*. 2022; (67): 230—242. [In Russian]. doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-230-242

## Введение

Определение источников и количества выпавших атмосферных осадков и распределение поступающих воздушных масс на территорию с развитой горной орографией играют важную роль при разработке сценариев развития метеорологических условий и их влияния на формирование стока горных рек. Данная проблема особенно актуальна на аридных и полуаридных территориях Центральной Азии с континентальным климатом, в которой зона формирования и использования водных ресурсов расположена в различных климатических условиях. Определением изотопного состава речной воды ( $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^2\text{H}$ ) можно получить важную информацию о водных ресурсах и местном круговороте воды, независимо от сложности определения факторов, таких как изотопный состав осадков и их сезонные изменения. Основное поступление влаги в регион происходит за счет западных, юго-западных циклонов, иногда из Каспийского и Аральского морей. Осадки на Мургабе и на плато восточного Памира выпадают преимущественно в период с мая по август. В восточном направлении характер сезонных осадков постепенно увеличивается, достигая максимума летом [1]. С запада на восток количество осадков значительно уменьшается, особенно зимой и весной, происходит смещение максимальных значений осадков от зимних и весенних к летним [2].

Водяной пар океанического происхождения может переноситься западными воздушными массами на большие расстояния и способствовать выпадению осадков в отдаленных местах. В условиях продолжающегося изменения климата взаимосвязь между источниками и стоками водяного пара постоянно меняется и представляет важное значение для оценки водного бюджета.

Учитывая близкие значения избытка дейтерия ( $d$ ) к значениям влаги над Средиземноморьем, большинство исследователей склонны к предположению, что основным источником осадков в Центральной Азии является влага, переносимая западными воздушными массами из Средиземноморья [5—12].

Однако, согласно результатам измерений избытка дейтерия ( $d$ ) и применения модели обратной траектории Лагранжа (HYSPLIT) для определения общего происхождения воздушной массы, максимальный вклад «западной» влажности в 40 % был обнаружен в марте, в то время как 40—60 % влаги переносилось по траекториям из северной части Индийского океана. Кроме того, в течение большей части года значение избытка дейтерия ( $d$ ) в атмосферных осадках на западном Памире было ниже (13 ‰), чем у влаги над Средиземноморьем (20 ‰) [3, 4]. На этом основании авторы [3, 4] придавали предпочтение влажным воздушным массам из акватории Индийского океана в обеспечении региона Центральной Азии атмосферными осадками.

Поступление влаги в горы западного Памира из северных и северо-западных районов континента происходит в основном в период март—май. Влага, поступающая воздушными массами с Каспийского моря в марте, характеризуется отрицательным избытком дейтерия. Заметное увеличение значений  $d$  в мае соответствует средней температуре воздуха и относительной влажности. При высокой относительной влажности и низкой температуре (0 °C) наблюдается почти нулевое значение  $d$ . Вклад влаги из Индийского океана уменьшается с января по май примерно с 60 до 20 % под воздействием жаркого и сухого климата в марте, апреле и мае. Влажный воздух из северной части Индийского океана доминирует в горах западного Памира зимой [3].

Согласно [12, 13], формирование снежных кристаллов в атмосфере сопровождается увеличением в них избытка дейтерия. Следовательно, образцы снега, получившегося из средиземноморской влаги, должны показывать более высокие значения  $d$ . Оценка данных переноса воздушных масс от западного Средиземноморья до западного Памира показывает ее максимальный вклад в атмосферные осадки в марте и апреле [3].

Целью работы является определение основных источников атмосферных осадков в бассейнах рек Таджикистана путем изучения изменений изотопного состава ( $\delta^2\text{H}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ), распределения изотопа кислорода ( $\delta^{18}\text{O}$ ) и избытка дейтерия (D-избыток) по высоте в притоках р. Вахш — одной из двух основных притоков трансграничной р. Амударья в Центральной Азии.

### Методика исследования

Объектом исследований являются реки Сурхоб и Обихингоу – притоки р. Вахш. При отборе проб воды для изотопного анализа применялась методология,





Рис. 1. Карта Таджикистана с речной сетью и метеорологических станций.

Fig. 1. Map of Tajikistan with river network and meteorological stations.

разработанная в университете Колорадо в Боулдере (США). Индивидуальность каждой реки, с точки зрения изотопного состава воды, соблюдалась путем отбора проб из притоков до слияния с потоком главной реки и до места слияния с другим притоком. Изотопно-кислородный и дейтериевый составы, дейтериевый эксцесс считаются одними из информативных индикаторов гидрологических и гляциологических исследований установления закономерностей процессов льдообразования, снегонакопления и протекания взаимных агрегатных превращений [14]. Анализы образцов вод выполнялись на Wavelength-Scanned Cavity Ringdown Spectroscopy (WSCRDS), изотопный состав водорода и кислорода выражался в относительных величинах  $\delta^2\text{H}$  и  $\delta^{18}\text{O}$ :  $\delta = [(R_{\text{об}} / R_{\text{станд}}) - 1] 1000 \text{ ‰}$ , где  $R_{\text{об}}$  и  $R_{\text{станд}}$  — отношения  $^2\text{H}/^1\text{H}$  и  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  в измеряемом образце и в стандарте. В качестве стандарта принята средняя океаническая вода (SMOW, Vienna, IAEA). Точность измерения составляла  $\pm 0,05 \text{ ‰}$ . Пробы воды из рек Сурхоб и Обихингоу отбирались 5—10 августа 2021 г. в период половодья рек.

Метеорологические условия бассейнов рек Сурхоб и Обихингоу и гидрологические характеристики рек оценивались на основе обобщения данных гидрометеорологических станций Нуробод и Тавильдара, а для сравнения характера изменения климатических условий западного, центрального Памира с его восточной частью использовались данные метеорологической станции Мургаб (рис. 1).

### Реки, ледники и климат бассейна реки Вахш

В правую составляющую р. Вахш — р. Сурхоб — впадает большой приток — р. Ярхыч, в бассейне которой имеется 177 ледников общей площадью 107 км<sup>2</sup>. На северном склоне хребта Петра Первого находятся 52 небольших ледника общей площадью 19,4 км<sup>2</sup>. В настоящее время они интенсивно тают, сокращаются. Правый приток Сурхоба — р. Сорбог длиной 81 км и площадью бассейна 1760 км<sup>2</sup>. В бассейне р. Сорбог насчитывается 246 ледников общей площадью 105,6 км<sup>2</sup>. Левая составляющая Вахша, р. Обихингоу, имеет длину 196 км, площадь бассейна 6660 км<sup>2</sup>, а перепад высот между истоком и устьем составляет 2020 м. В ее бассейне находится 756 ледников общей площадью 712 км<sup>2</sup>. В истоках р. Обихингоу располагается один из крупнейших ледников Памира — Гармо, дающий начало одноименной реке. Его длина составляет 34 км, площадь — 114 км<sup>2</sup>. В настоящее время этот ледник, имеющий западную экспозицию, интенсивно отступает, его поверхность оседает, от ледника отделяются большие ледяные блоки. Ледник Гармо в течение прошлого столетия сократился на 7 км, потеряв более 6 км<sup>2</sup> площади. Ныне ледник отступает со скоростью 9 м/год с уменьшением площади 4 м/год [14].

Бассейн р. Вахш с площадью 39100 км<sup>2</sup> является одним из больших по территории бассейнов, находящийся в наиболее высокой части Средней Азии. Верхняя часть бассейна р. Вахш расположена на северной окраине Памира в пределах Памирского и Алайских хребтов, средняя и нижняя части в полуаридной зоне Южно-Таджикской депрессии [15].

Вахшская долина расположена в юго-западной части Таджикистана на высоте 329—445 м над уровнем моря. Сумма положительных температур в пределах года с температурой выше 10 °С составляет 50,37—56,73 °С, сумма эффективных температур (выше 10 °С) варьирует в пределах 26,87—32,23 °С. В бассейне р. Вахш в январе морозы могут достигать –20—25 °С, а положительные температуры 22—23 °С. Среднемесячная температура воздуха в теплый период достигает 28,4—31,4 °С, а среднегодовая 15,7—16,7 °С. По условиям увлажнения климат бассейна р. Вахш относится к сухому климату [15]. Годовое количество осадков составляет 143—297 мм, а за период апрель—сентябрь варьирует в пределах 45—77 мм. Из среднегодового количества осадков по четырем метеостанциям 40 % приходится на зиму, 48 % на весну, 1,5 % на лето, 10,5 % на осень [15].

### Результаты исследований

Систематизация и обработка данных метеорологических станций Нуробод (39°00' 70°18') (бассейн р. Сурхоб) и Тавильдара (38°42' 70°28') (бассейн р. Обихингоу) за период 1950—2020 гг. показывает, что температура в бассейне р. Вахш за период 1950—2020 гг. характеризовалась положительным трендом (рис. 2).

Согласно проведенным оценкам, темп повышения среднегодовых значений температуры за период 1950—2020 гг. протекает по-разному и составляет по бассейнам рек Сурхоб  $6,3 \times 10^{-3}$  °С/год и Обихингоу  $18,6 \times 10^{-3}$  °С/год. За рассматриваемый период наблюдалось хотя и небольшое, но увеличение количества атмосферных осадков по всему верховью р. Вахш. В частности, в бассейнах рек

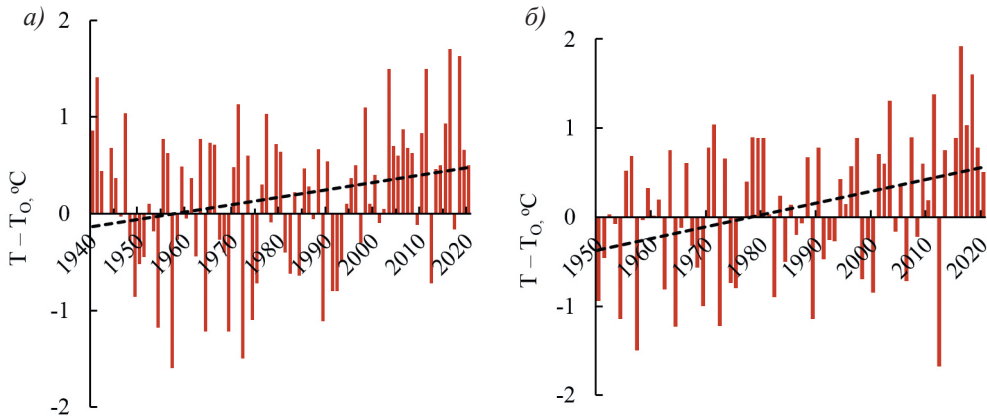


Рис. 2. Изменение среднегодовых температур бассейнов рек Сурхоб (а) и Обихингоу (б) за период 1940—2020 гг. по отношению к базисному периоду 1960—1990 гг.

Fig. 2. The average annual temperatures change of the Surkhob (a) and Obikhingou (b) river basins for the period 1940—2020 to the base period 1960—1990.

Сурхоб и Обихингоу среднегодовое увеличение количества осадков за период 1950—2020 гг. составило 0,88 мм/год и 3,7 мм/год.

Памир можно рассматривать как область, где происходит смена влажного, холодного средиземноморского климата на сухой центральноазиатский. В свою очередь, для Горно-Бадахшанской автономной области, охватывающей почти весь горный Памир, характерны три климатические зоны. Во всех климатических зонах Памира происходит потепление климата, в частности в Дарвазе 0,9—1,0 °С; Хороге — 0,33 °С; Ишкашине — 0,54 °С; Ирхте — 0,39 °С; Джавшангозе — 0,36 °С; Мургабе — 0,45 °С, причем данный процесс протекает в ускоренном виде на высокогорьях [16].

По данным метеостанции Дарваз, расположенной на границе южной и центральной зон Памира, вертикальный градиент составляет около 40 мм на 100 м высоты, что свидетельствует о более влажных предгорьях и существовании широких котловин, имеющих открытый выход на запад, навстречу влажным воздушным потокам. По мере продвижения воздушного течения вглубь горной области и переваливания через хребты влажный воздух конвертирует влагу и становится сухим. Среднегодовое количество атмосферных осадков на восточном Памире незначительное и варьируется в пределах 40—140 мм со средним многолетним значением около 76 мм. Дефицит осадков на восточном Памире обусловлен тем, что на западном Памире, характеризующем высокими горными хребтами (5000—6000 м н.у.м.), происходит разгрузка влажного воздуха с выпадением обильных осадков, и воздух, переваливший через хребты западного Памира, становится сухим.

Стабильные изотопы кислорода и водорода широко применяются в гидрологических исследованиях для определения источников атмосферных осадков, транспирации влаги и стоков рек.

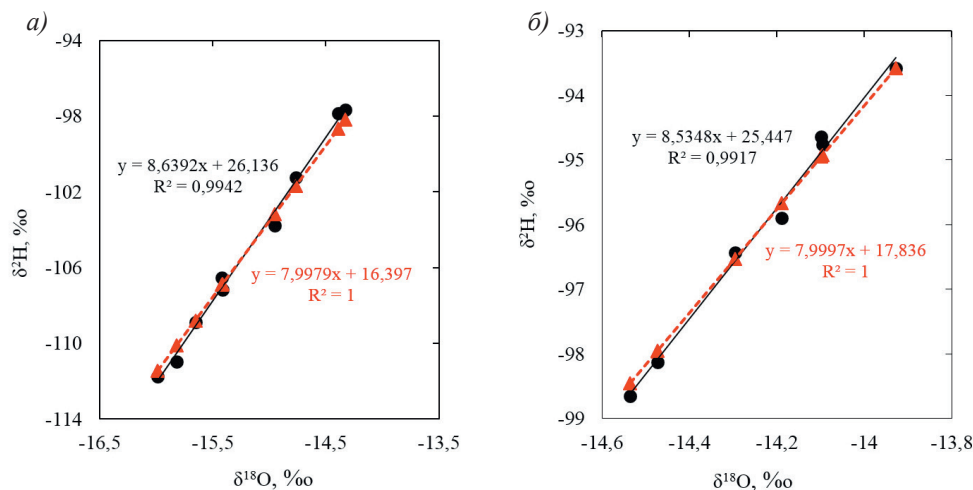


Рис. 3. Диаграмма соотношений  $\delta^2\text{H} \sim \delta^{18}\text{O}$  для вод рек Сурхоб (а) и Обихингоу (б) по сравнению с Глобальной метеоритной водной линией (ГМВЛ) (пунктир).

Fig. 3. Diagram of  $\delta^2\text{H} \sim \delta^{18}\text{O}$  for the waters of the Surkhob (a) and Obikhingou (b) rivers compared to the Global Meteoritic Water Line (GMWL) (dotted line).

На рис. 3 приведена линейная зависимость между  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^2\text{H}$  в водах рек Сурхоб и Обихингоу по сравнению с Глобальной метеоритной водной линией (ГМВЛ).

В отличие от изотопов осадков, в речной воде могут происходить процессы, приводящие к фракционированию изотопов, такие как процессы после выпадения снега и дальнейшее испарение, что может изменить соотношение между  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^2\text{H}$ . Более ранние работы по процессам таяния снега показали, что испарение и повторное замерзание приводят к уменьшению наклона зависимости  $\delta^2\text{H}$  от  $\delta^{18}\text{O}$ , а таяние не оказывает явного влияния на изотопный состав воды [16]. В среднем, линия испарения воды располагается под ГМВЛ [17, 18]. Однако, расположение точек на зависимости  $\delta^2\text{H} \sim \delta^{18}\text{O}$  выше ГМВЛ означает, что испарение речной воды не оказывает существенного влияния на соотношение  $\delta^2\text{H} \sim \delta^{18}\text{O}$ .

На западном и центральном Памире дефицит атмосферных осадков наблюдается летом, и речной сток формируется в основном из талых вод ледников, в которых изотопное фракционирование минимально. Из рис. 3 видно, что значения изотопов  $^2\text{H}$  и  $^{18}\text{O}$  на диаграмме вплотную расположены к ГМВЛ, определяющие почти отсутствие испарения речных вод и существенный вклад талых ледниковых вод в формирование стока (рис. 4).

Пространственное изменение влажного воздуха с запада на восток происходит по механизму его постепенного облегчения по маршруту движения в результате перемешивания теплой воздушной массы с местным холодным воздухом и образования осадков.

Распространение западных ветров на большие расстояния происходит в декабре и январе, и значения  $d$  варьируются от 0 до 18 %. Атмосферные условия

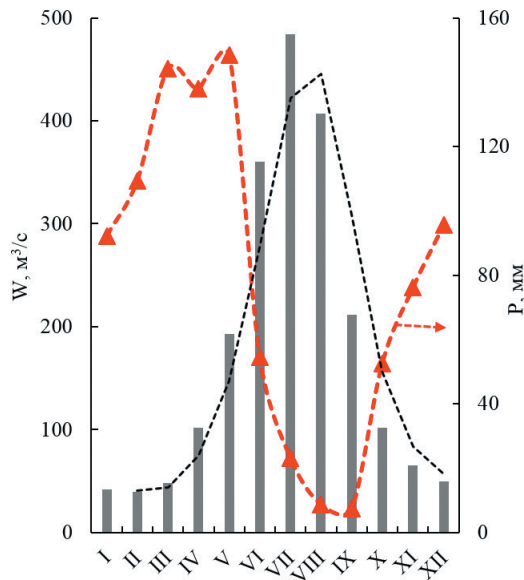


Рис. 4. Среднемесячные значения атмосферных осадков в бассейне и гидрограф р. Обихингоу за период 1950–2020 гг.

Fig. 4. Average monthly values of atmospheric precipitation in the basin and Hydrograph of the Obikhingou River for the period 1950–2020.

в холодное время года благоприятствуют образованию водяного пара с более высокими значениями  $d$ , когда преобладает холодный и сухой воздух с континента [19–21].

Общее увеличение значений  $d$  в атмосферных осадках с западной части на восточную часть Памира соответствует метеорологической эволюции средиземноморского потока, в котором воздух становится суше по мере продвижения на восток. Характер сезонного распределения атмосферных осадков на западном и восточном Памире оценивался с помощью обобщения данных метеорологических станций Нуробод и Мургаб за период 1960–2020 гг. (рис. 5). Как видно из рис. 5, если максимальное количество атмосферных осадков на западном Памире выпадает весной (март–май), то на востоке Памира оно приходится на лето. Наряду с этим, значения  $d$  для речных вод бассейна р. Вахш лежат в пределах от 15,85 до 17,94 ‰, что свидетельствует о средиземноморском происхождении влаги.

Изотопный состав рек Сурхоб и Обихингоу, как видно из рис. 6, зависит от высоты точек отбора проб воды. Судя по корреляциям, представленным на рис. 6, связь между  $\delta^{18}\text{O}$  речных вод и высотой является значительной.

Наблюдаемая скорость вертикального падения  $\delta^{18}\text{O}$  воды р. Обихингоу (0,007 ‰ / 100 м) значительно ниже, а у р. Сурхоб (0,32 ‰ / 100 м) немного выше среднего мирового значения, что чуть превышает среднее значение по миру (0,28 ‰ / 100 м) [22]. В бассейне р. Обихингоу более низкая наблюдаемая скорость

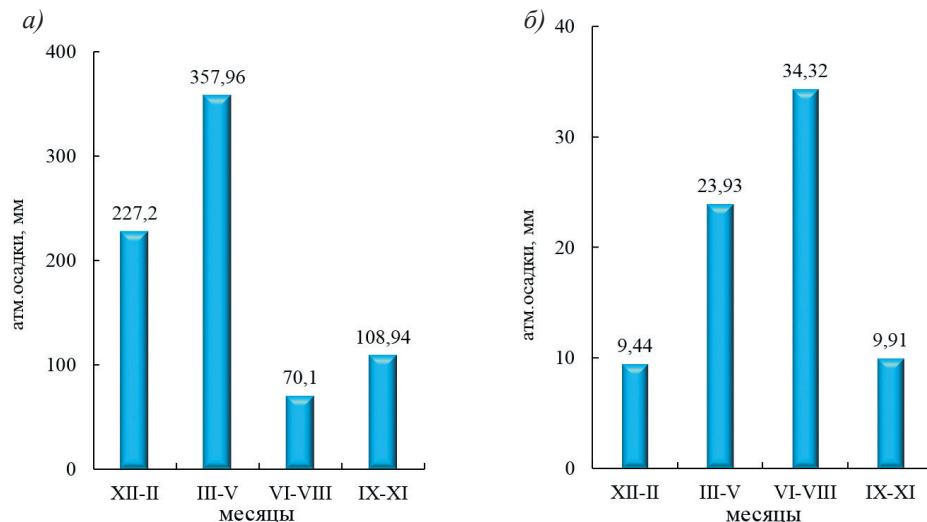


Рис. 5. Сезонное распределение атмосферных осадков на западной (метеостанция Нуробод) (а) и восточной (метеостанция Мургаб) (б) части Памира.

Fig. 5. Seasonal distribution of atmospheric precipitation in the Western (Nurobod meteostation) (а) and Eastern (Murgab meteostation) (б) parts of the Pamirs.

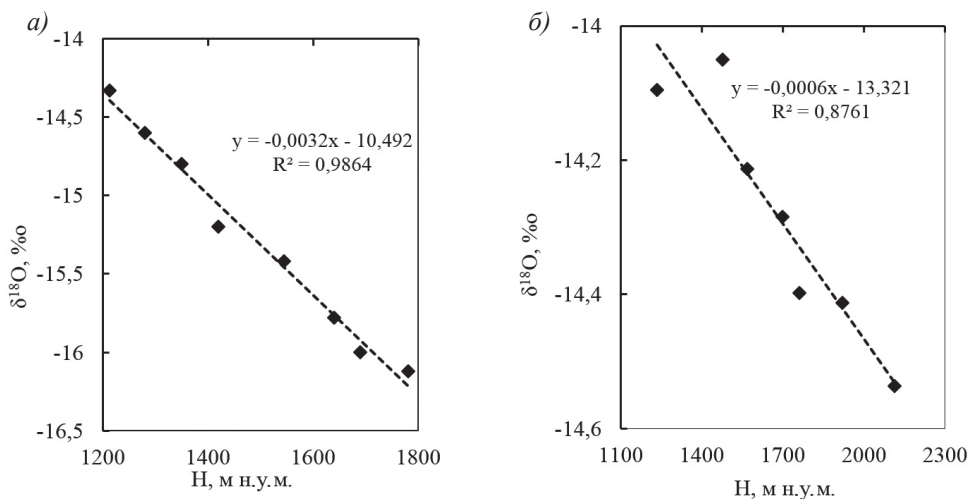


Рис. 6. Высотная зависимость  $\delta^{18}\text{O}$  для рек Сурхоб (а) и Обихингоу (б).

Fig. 6. Altitude dependence of  $\delta^{18}\text{O}$  for the Surkhob (а) and Obikhingou (б) rivers.

вертикального падения  $\delta^{18}\text{O}$  в речной воде, вероятно, связана с особенностями рельефа и водных ресурсов. Горный регион Памир состоит из острых гор и глубоких долин. Глубокий накопленный в долинах снег представляет собой смешанный

слой снега с разных высот; он тает в период с мая по август, ограничивая выбор изотопов. Такая топография способствует постепенному таянию снега и льда в относительно узком диапазоне высот по мере постепенного повышения температуры с весны до лета. Это ограничивает диапазон изменения  $\delta^{18}\text{O}$  воды и приводит к наблюдаемой низкой скорости вертикального падения  $\delta^{18}\text{O}$  речной воды.

При нулевых значениях  $\delta^{18}\text{O}$  в осадках значения  $\delta^2\text{H}$  в среднем равны 10 ‰, а в морской воде они равны приблизительно нулю как по дейтерию, так и по кислороду 18. Это превышение значений  $\delta^2\text{H}$  над линией с наклоном 8, проходящей через пересечение осей координат, получило название избытка дейтерия, обозначаемой  $d$ :

$$d = \delta^2\text{H} - 8 \delta^{18}\text{O}. \quad (1)$$

Как было указано выше, с увеличением высоты происходит уменьшение значений  $\delta^{18}\text{O}$  и, согласно (1),  $d$  возрастает. Например, значения  $d$  вод р. Сурхоб, отобранных на высотах 1200 м н.у.м. и 1800 м н.у.м., соответствуют 10 и 16 ‰.

В бассейне р. Вахш наблюдается очевидная пространственная тенденция уменьшения  $d$  в речных водах с запада на восток, и его значения находятся в диапазоне от 15 до 18 ‰. Более высокий  $d$  в речных водах бассейна р. Вахш отражает влияние влаги из Средиземного моря. Еще одной причиной пространственного изменения  $d$  речных вод является сезонность осадков между западом и востоком Таджикистана. Таким образом, сезонная структура осадков оказывает значительное влияние на  $d$  осадков. На станциях центральной и западной частях Таджикистана осадки выпадают в основном зимой и весной, а летом наблюдается явный недостаток осадков.

### Выводы

Обнаружено умеренное уменьшение  $\delta^{18}\text{O}$  с высотой для рек Сурхоб и Обихингоу со скоростью 0,32 ‰ / 100 м и 0,007 ‰ / 100 м, соответственно.

Обнаружена пространственная тенденция уменьшения избытка дейтерия ( $d$ ) в речных водах бассейна р. Вахш с запада на восток, указывающая, что основным источником атмосферных осадков в бассейне р. Вахш является средиземноморская влага, переносимая западными воздушными массами.

Обнаружены уменьшение  $\delta^2\text{H}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  с высотой и пространственное уменьшение избытка дейтерия ( $d$ ) с запада на восток, обусловленные изменением весового соотношения  $\text{H}_2\text{O} / \text{HDO}$  по высоте и направлению движения влажной воздушной массы из Средиземноморья.

### Список литературы

1. Aizen V.B., Aizen E.M., Melack J.M. Climate, snow cover, glaciers, and runoff in the Tien Shan, central Asia // J. Am. Water Resources Assoc. 1995. Vol. 31. P. 1113—1129. doi: 10.1111/j.1752-1688.1995.tb03426.x12.
2. Liu Q., Tian L.D., Wang J.L., Wen R., Weng Y.B., Shen Y.P., Vladislav M., Kanaev E. A study of longitudinal and altitudinal variations in surface water stable isotopes in West Pamir, Tajikistan // Atmos. Res. 2015. Vol. 153. P. 10—18. doi: 10.1016/j.atmosres.2014.07.029.

3. Juhlke T.R., Meier Ch., Geldern R., Vanselow K.A., Wernicke J., Baidulloeva J., Johannes A.C., Barth J.A.C., Weise S.M. Assessing moisture sources of precipitation in the Western Pamir Mountains (Tajikistan, Central Asia) using deuterium excess. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*. 2019. Vol. 71(1). P. 1—16. doi: 10.1080/16000889.2019.1601987.
4. Jeelani G., Deshpande R.D., Shah R.A., Hassan W. Influence of southwest monsoons in the Kashmir Valley, western Himalayas // *Isotope Environ. Health Study*. 2017. Vol. 53. P. 400—412. doi: 10.1080/10256016.2016.1273224.
5. Kattan Z. Chemical and environmental isotope study of precipitation in Syria // *J. Arid. Environ.* 1997. Vol. 35. P. 601—615. doi: 10.1006/jare.1996.0228.
6. Al Charideh A.R., Zakhem B.A. Distribution of tritium and stable isotopes in precipitation in Syria // *J. Hydrol. Sci.* 2010. Vol. 55. P. 832—843. doi: 10.1080/02626667.2010.487977.
7. Hussain Sh., Song Xianfang S., Hussain I., Jianrong L., Mei H.D., Hu Y.L., Huang W. Controlling factors of the stable isotope composition in the precipitation of Islamabad, Pakistan // *Adv. Meteorol.* 2015. Vol. 9. P. 1—11. doi: 10.1155/2015/817513.
8. Wang X., Li Z., Tayier R., Wang S. Characteristics of atmospheric precipitation isotopes and isotopic evidence for the moisture origin in Yushugou River basin, Eastern Tianshan Mountains, China // *Quat. Int.* 2015. Vol. 380—381. P. 106—115. doi: 10.1016/j.quaint.2014.12.023.
9. Aizen V.B., Aizen E.M., Melack J., Martma T. Isotopic measurements of precipitation on central Asian glaciers (southeastern Tibet, northern Himalayas, central Tien Shan) // *J. Geophys. Res.* 1996. Vol. 101. P. 9185—9196. doi: 10.1029/96JD00061.
10. Kreutz K.J., Wake C.P., Aizen V.B., DeWayne Cecil L., Synal H.A. Seasonal deuterium excess in a Tien Shan ice core: influence of moisture transport and recycling in Central Asia // *Geophys. Res. Lett.* 2003. Vol. 30. P. 2-1—2-4.
11. Tian L., Yao T., Macclune K., White J.W.C., Schilla A., Bruce H., Vaughn R., Vachon K.I. Stable isotopic variations in west China: A consideration of moisture sources // *J. Geophys. Res.* 2007. Vol. 112. P. 1—12.
12. Lamb K.D., Clouser B.W., Bolot M., Sarkozy L., Ebert V. Laboratory measurements of HDO/H<sub>2</sub>O isotopic fractionation during ice deposition in simulated cirrus clouds. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2017. Vol. 114. P. 5612—5617. doi: 10.1073/pnas.1618374114.
13. Jouzel J., Merlivat L. Deuterium and oxygen 18 in precipitation: modeling of the isotopic effects during snow formation // *J. Geophys. Res.* 1984. Vol. 89. P. 11749—11757.
14. Uemura R., Matsui Y., Yoshida N., Abe O., Mochizuki S. Isotopic fractionation of water during snow formation: experimental evidence of kinetic effect. *Polar Meteorol. Glaciol.* 2005. Vol. 19. P. 1—14.
15. Норматов П.И., Фруминов Г.Т., Муминов А.О., Норматов И.Ш. Исследование изотопного состава воды ( $\delta^2\text{H}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ) трансграничных рек Зеравшана, Вахша и их притоков // *Географический вестник*. 2017. № 4 (43). С. 97—104. doi: 10.17072/2079-7877-2017-4-97-104.
16. МКВК. База знаний по использованию земельных и водных ресурсов бассейна Аральского моря. Реки. Вахш: [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.cawater-info.net](http://www.cawater-info.net). Дата обращения: 12.03.2022.
17. Zhou S., Nakawo M., Sakai A., Matsuda Y., Duan K., Pu J. Water isotope variations in the snow pack and summer precipitation at July. Glacier, Qilian Mountains in northwest China // *Chin. Sci. Bull.* 2007. Vol. 52. P. 2963—2972.
18. Craig H. Isotopic variations in meteoric waters // *Science*. 1961. Vol. 133. P. 1702—1703.
19. Rozanski K., Arguas-Arguas L., Gongiantini R. Isotope patterns in modern global precipitation. *Climate Change in Continental Isotope Records. Geophysical Monograph.* // American Geophysical Union. 1993. Vol. 78. P. 1—36.
20. Gat J.R., Carmi I. Evolution of the isotopic composition of atmospheric waters in the Mediterranean Sea area // *J. Geophys. Res.* 1970. Vol. 75. P. 3039—3048. doi: 10.1029/JC075i015p03039.
21. Rindsberger M., Magaritz M., Carmi I., Gilad D. The relation between air mass trajectories and the water isotope composition of rain in the Mediterranean Sea area // *Geophys. Res. Lett.* 1983. Vol. 10. P. 43—46. doi: 10.1029/GL010i001p00043.
22. Liotta M., Favara R., Valenza M. Isotopic composition of the precipitations in the central Mediterranean: origin marks and orographic precipitation effects // *J. Geophys. Res.: Atmos.* 2006. Vol. 111. P. 1—12.



23. *Poage M.A., Chamberlain C.P.* Empirical relationships between elevation and the stable isotope composition of precipitation and surface waters: considerations for studies of paleoelevation change // *Am. J. Sci.* 2001. Vol. 301. P. 1—15.

### References

1. *Aizen V.B., Aizen E.M., Melack J.M.* Climate, snow cover, glaciers, and runoff in the Tien Shan, central Asia. *J. Am. Water Resources Assoc.* 1995, 31: 1113—1129. doi: 10.1111/j.1752-1688.1995.tb03426.x12.
2. *Liu Q., Tian L.D., Wang J.L., Wen R., Weng Y.B., Shen Y.P., Vladislav M., Kanaev E.* A study of longitudinal and altitudinal variations in surface water stable isotopes in West Pamir, Tajikistan. *Atmos. Res.* 2015, 153: 10—18. doi: 10.1016/j.atmosres.2014.07.029.
3. *Juhlke T.R., Meier Ch., Geldern R., Vanselow K.A., Wernicke J., Baidulloeva J., Johannes A.C. Barth J.A.C., Weise S.M.* Assessing moisture sources of precipitation in the Western Pamir Mountains (Tajikistan, Central Asia) using deuterium excess. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology.* 2019, 71(1): 1—16. doi: 10.1080/16000889.2019.1601987.
4. *Jeelani G., Deshpande R.D., Shah R.A., Hassan W.* Influence of southwest monsoons in the Kashmir Valley, western Himalayas. *Isotope Environ. Health Study.* 2017, 53: 400—412. doi: 10.1080/10256016.2016.1273224.
5. *Kattan Z.* Chemical and environmental isotope study of precipitation in Syria. *J. Arid. Environ.* 1997, 35: 601—615. doi: 10.1006/jare.1996.0228.
6. *Al Charideh A.R., Zakhem B.A.* Distribution of tritium and stable isotopes in precipitation in Syria. *J. Hydrol. Sci.* 2010, 55: 832—843. doi:10.1080/02626667.2010.487977.
7. *Hussain Sh., Song Xianfang S., Hussain I., Jianrong L., Mei H.D., Hu Y.L., Huang W.* Controlling factors of the stable isotope composition in the precipitation of Islamabad, Pakistan. *Adv. Meteorol.* 2015, 9: 1—11. doi: 10.1155/2015/817513.
8. *Wang X., Li Z., Tayier R., Wang S.* Characteristics of atmospheric precipitation isotopes and isotopic evidence for the moisture origin in Yushugou River basin, Eastern Tianshan Mountains, China. *Quat. Int.* 2015, 380—381: 106—115. doi: 10.1016/j.quaint.2014.12.023.
9. *Aizen V.B., Aizen E.M., Melack J., Martma T.* Isotopic measurements of precipitation on central Asian glaciers (southeastern Tibet, northern Himalayas, central Tien Shan). *J. Geophys. Res.* 1996, 101: 9185—9196. doi: 10.1029/96JD00061.
10. *Kreutz K.J., Wake C.P., Aizen V.B., DeWayne Cecil L., Synal H.A.* Seasonal deuterium excess in a Tien Shan ice core: influence of moisture transport and recycling in Central Asia. *Geophys. Res. Lett.* 2003, 30: 2-1—2-4.
11. *Tian L., Yao T., Macclune K., White J.W.C., Schilla A., Bruce H., Vaughn R., Vachon K.I.* Stable isotopic variations in west China: A consideration of moisture sources. *J. Geophys. Res.* 2007, 112: 1—12.
12. *Lamb K.D., Clouser B.W., Bolot M., Sarkozy L., Ebert V.* Laboratory measurements of HDO/H<sub>2</sub>O isotopic fractionation during ice deposition in simulated cirrus clouds. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2017, 114: 5612—5617. doi: 10.1073/pnas.1618374114.
13. *Jouzel J., Merlivat L.* Deuterium and oxygen 18 in precipitation: modeling of the isotopic effects during snow formation. *J. Geophys. Res.* 1984, 89: 11749—11757.
14. *Uemura R., Matsui Y., Yoshida N., Abe O., Mochizuki S.* Isotopic fractionation of water during snow formation: experimental evidence of kinetic effect. *Polar Meteorol. Glaciol.* 2005, 19: 1—14.
15. *Normatov P.I., Frumin G.T., Muminov A.O., Normatov I. Sh.* Study of water isotope composition ( $\delta^2\text{H}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ) of Transboundary Rivers Zeravshan, Vakhsh and their tributaries. *Geograficheskii vestnik. Geographical Bulletin.* 2017, 4(43): 97—104. doi: 10.17072/2079-7877-2017-4-97-104. [In Russian].
16. ICWC. Knowledge base on land and water resources use in the Aral Sea Basin. Rivers. Vakhsh. Available at: [www.cawater-info.net](http://www.cawater-info.net) (accessed 12.03.2022). [In Russian].
17. *Zhou S., Nakawo M., Sakai A., Matsuda Y., Duan K., Pu J.* Water isotope variations in the snow pack and summer precipitation at July. Glacier, Qilian Mountains in northwest China. *Chin. Sci. Bull.* 2007, 52: 2963—2972.
18. *Craig H.* Isotopic variations in meteoric waters. *Science.* 1961, 188: 1702—1703.

19. *Rozanski K., Arguas-Arguas L., Gongiantini R.* Isotope patterns in modern global precipitation. *Climate Change in Continental Isotope Records. Geophysical Monograph. American Geophysical Union.* 1993, 78: 1—36.
20. *Gat J.R., Carmi I.* Evolution of the isotopic composition of atmospheric waters in the Mediterranean Sea area. *J. Geophys. Res.* 1970, 75: 3039—3048. doi: 10.1029/JC075i015p03039.
21. *Rindsberger M., Magaritz M., Carmi I., Gilad D.* The relation between air mass trajectories and the water isotope composition of rain in the Mediterranean Sea area. *Geophys. Res. Lett.* 1983, 10: 43—46. doi: 10.1029/GL010i001p00043.
22. *Liotta M., Favara R., Valenza M.* Isotopic composition of the precipitations in the central Mediterranean: origin marks and orographic precipitation effects. *J. Geophys. Res.: Atmos.* 2006, 111: 1—12.
23. *Poage M.A., Chamberlain C.P.* Empirical relationships between elevation and the stable isotope composition of precipitation and surface waters: considerations for studies of paleoelevation change. *Am. J. Sci.* 2001, 301: 1—15.

### ***Информация об авторах***

*Норматов Ином Шерович*, д-р хим. наук, профессор, член-корреспондент Национальной Академии наук Таджикистана, заведующий кафедрой метеорологии и климатологии физического факультета Таджикского национального университета, inomnor@mail.ru.

*Фрумин Григорий Тевелевич*, д-р хим. наук, профессор, профессор физической географии и природопользования Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена, gfrumin@mail.ru.

*Хомидов Анвар*, ведущий специалист Агентства по гидрометеорологии Республики Таджикистан, anvar@mail.ru.

### ***Information about authors***

*Normatov Inom Sherovich*, Doctor of Sciences (Chem.), Corresponding member National Academy of Sciences of Tajikistan, Head of Meteorology and Climatology Department of the Tajik National University.

*Frumin Grigory Tevelevich*, Grand PhD (Chem Sci.), Prof. of the Physical Geography and Nature Management of the Russian State Pedagogical University named after A.I. Herzen.

*Homidov Anvar*, Leading Specialist of the Agency for Hydrometeorology of the Republic of Tajikistan.

**Конфликт интересов:** конфликт интересов отсутствует.

*Статья поступила 30.01.2022.*

*Принята к публикации после доработки 29.04.2022.*

*The article was received on 30.01.2022.*

*The article was accepted after revision on 29.04.2022.*

Гидрометеорология и экология. 2022. № 67. С. 243—255.  
Hydrometeorology and Ecology. 2022; (67): 243—255.

## ***ОКЕАНОЛОГИЯ***

Научная статья

УДК 502.51:[574.5:591.543.43:577.117](261.246)  
doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-243-255

### **Вклад органического вещества половых продуктов сельди-салаки *Clupea harengus membras*, поступающих в экосистему Вислинского залива при нересте**

***Алексей Витальевич Гуцин, Юлия Юрьевна Полунина***

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Poseidon-47@rambler.ru

*Аннотация.* Сельдь-салака нагуливается в море и весной совершает нерестовую миграцию в Вислинский залив, который служит главным местом нереста этого вида в южной части Балтийского моря. В воды залива во время нереста поступает органическое вещество в виде половых продуктов (икры и молоко) и массы тел салаки, которые через пищевые цепи сказываются на функционировании экосистемы залива. Установлено, что в зависимости от мощности нереста в залив ежегодно поступает 43,4—125,9 т сухого органического вещества половых продуктов, в среднем 76,9 т/год.

*Ключевые слова:* сельдь-салака, *Clupea harengus membras*, Вислинский залив, Балтийское море, нерестовая миграция, органическое вещество половых продуктов.

*Благодарности.* Работы были выполнены при поддержке госзадания ИО РАН № FMWE-2021-0012. Авторы выражают благодарность заведующей лабораторией морской экологии ИО РАН Е.Е. Ежовой за поддержку этого проекта.

*Для цитирования:* Гуцин А.В., Полунина Ю.Ю. Вклад органического вещества половых продуктов сельди-салаки *Clupea harengus membras*, поступающих в экосистему Вислинского залива при нересте // Гидрометеорология и экология. 2022. № 67. С. 243—255. doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-243-255.

## ***OCEANOLOGY***

Original article

### **The contribution of the organic matter of the reproductive products of herring herring *Clupea harengus membras* entering the ecosystem of the Vistula Lagoon during spawning**

***Alexey V. Gushchin, Yulia Yu. Polunina***

The P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, Poseidon-47@rambler.ru

*Summary.* The spawning migration of the Baltic herring from the Baltic Sea to lagoon water, where the spawning takes place, is associated with the transfer of the organic matter accumulated in the sea dur-

ing feeding. Entering and remaining in the reservoir the organic matter affects the ecological state of the reservoir. This type of water body includes the Vistula Lagoon, which serves as the main spawning ground for the Baltic herring in the southern part of the Baltic Sea, where the spawning takes place in the first half of spring. According to the average long-term data, 5493.1 t/year of the Baltic herring enter the Vistula Lagoon for the spawning, of which 3995.1 t/year is withdrawn by the fishery and 1498.2 t/year returns to the sea. During the spawning, the organic matter in the form of the reproductive products (eggs and soft roe) and the body mass of the Baltic herring enters the water of the lagoon and through the food chains affects the functioning of its ecosystem. On the average, the lagoon receives 76.9 tons of the dry organic matter of the reproductive products annually. Due to the different inter-annual capacity of the Baltic herring approaches, the minimal amount of the dry organic matter is 43.4 tons, the maximum is 125.9 tons. The calculations show that 37.5 % of fish spawns and returns to the sea on the average, leaving their reproductive products in the lagoon. The catch (legal, illegal and an amateur) amounts to 62.5 %. When the fish is caught, a part of reproductive products of the Baltic herring remains in the reservoir due to spontaneous spawning in the fishing gears and when the catch is taken from the set nets. The calculations take into account the different amounts of the organic matter of the reproductive products in the males and the females. The losses from the natural mortality, eating by the predators, death of the Baltic herring from the diseases and the other natural causes, as well as exchange losses are not taken into the account. It is assumed that such losses are stable and minimal.

*Keywords:* Baltic herring, *Clupea harengus membras*, Vistula Lagoon, Baltic Sea, spawning migration, organic matter of reproductive products.

*Acknowledgments.* The work was carried out with the support of the state task of the IO RAS No. FMWE-2021-0012. The authors are grateful to E.E. Ezhova for supporting this project.

*For citation:* Gushchin A.V., Polunina Yu.Yu. The contribution of the organic matter of the reproductive products of herring herring *Clupea harengus membras* entering the ecosystem of the Vistula Lagoon during spawning. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2022; (67): 243—255. [In Russian]. doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-243-255.

## Введение

Нерестовая миграция некоторых видов рыб связана с переносом органического вещества, накопленного в море во время нагула, в континентальные водоемы, где происходит нерест. Поступающее органическое вещество в виде массы тел рыб, продуктов их жизнедеятельности, выметываемых половых продуктов, содержащих биологически активные вещества, во многом определяет экологический статус водоема и окружающей биоты.

Примером может служить нерест дальневосточных лососей, который сказывается на существовании водной и прилегающей сухопутной биоты, от насекомых до крупных млекопитающих-хищников [1]. Погибший и разлагающийся после нереста лосось становится источником питания для водных организмов, служащих пищей для молоди лосося. В реках Сахалина более 40 % азота и углерода, накопленного растущей молодью рыб, и 20 % азота прибрежных растений поступает за счет органического вещества тел погибшего лосося [2].

Подобное, в меньших масштабах и без массовой гибели производителей, происходит в лагунах южной части Балтийского моря, куда на нерест приходит сельдь-салака. Вислинский залив служит главным местом нереста этого вида в южной части Балтийского моря.

Вислинский залив простирается с юго-запада на северо-восток и соединяется с Балтийским морем судосходным проливом в районе г. Балтийска. От моря залив отделен узкой песчаной косой. Общая площадь водной поверхности Вислинского

залива 838 км<sup>2</sup>. Средняя глубина залива 2,8 м, наибольшая глубина 5,2 м. Обычно уровень воды в заливе на 5—8 см выше уровня Балтийского моря. Колебания уровня воды в заливе составляют 19—21 см. Соленость воды в заливе изменяется в зависимости от направления ветра и сезона. Колебания солености составляют 0,5—6,2 ‰ с выраженным горизонтальным градиентом солености [3]. Подробные сведения об условиях среды в заливе можно получить в «Географическом атласе Калининградской области» [3]. Массовый нерест сельди-салаки проходит в феврале—апреле при среднесуточной температуре воды 3,3—7,9 °С, в среднем 5,4 °С. Колебания солености в этот период составляют 2,3—4,9 ‰, в среднем 3,5 ‰ [4].

Процесс нереста салаки с точки зрения воспроизводства достаточно изучен, но воздействие поступающего в ходе нереста органического вещества половых продуктов на экосистему залива оставляет много вопросов. Часть этого вещества используется для воспроизводства, часть становится пищевым ресурсом, биоактивные вещества половых продуктов на биохимическом уровне воздействуют на планктонные и бентосные организмы, стимулируя или подавляя их воспроизводство и рост. Изучение этих вопросов актуально с точки зрения представлений о функционировании экосистемы залива, но до настоящего времени нет сведений о количестве половых продуктов, поступающих в воды залива при нересте салаки. Определение количества органического вещества, вносимого в Вислинский залив в ходе массового нереста салаки, является первым этапом исследования воздействия органического вещества половых продуктов на экосистему залива и послужило целью данной статьи.

### Материалы и методы исследования

Оценка количества органического вещества, поступающего в ходе нереста салаки в Вислинский залив, основывается на многолетних статистических данных вылова салаки и на материалах биологического анализа 400 экз. рыбы, послуживших для количественной оценки органического вещества половых продуктов, содержащегося в гонадах. Остальные параметры для расчетов были взяты из научных литературных источников [4—7].

Определение массы органического вещества, попадающего в залив при нересте, проводилось следующим образом.

*Биомасса салаки, входящей в залив на нерест.* Прямой оценки биомассы салаки, входящей на нерест в Вислинский залив, нет. Для ее оценки используются косвенные данные по уловам и промысловому усилию, т. е. количество ставных неводов и вылов за определенный период времени [5, 7]. Средняя масса нерестового запаса в тоннах была определена как запас в млн экз. [5], умноженный на среднюю массу одного экземпляра салаки данного года.

Полученные данные не отражают всей полноты динамики массы промыслового запаса, зависимой от условий среды конкретного года, определяющей биологические показатели идущей на нерест салаки. Но эти данные могут быть использованы для предварительного расчета количества попадающего в залив органического вещества и определения тенденции расхода этого вещества в заливе.

Сложность определения промыслового запаса связана с тем, что официальный вылов не учитывает изъятие салаки при нелегальном промысле, (в том числе и укрывательство части улова), и вылов рыбаков-любителей, составляющий десятки и сотни тонн [8].

*Биомасса, потерянная популяцией салаки вследствие изъятия промыслом*, определялась по результатам данных промысловой статистики уловов за 1995—2017 гг. [7]. К данным промысловой статистики вылова салаки следует добавить 7 %, так как по предварительной экспертной оценке считается, что 5—10 % от общего улова вылавливается нелегально и рыбаками-любителями, поэтому не входит в официальную статистику [8].

*Биомасса выметанных половых продуктов* определялась, учитывая соотношение самцов и самок в уловах в нерестовый период и среднюю массу половых продуктов в процентах от массы тел рыб. Анализ был выполнен по результатам наблюдений авторов за нерестом 2009 г. (полный биологический анализ 400 экз. салаки) и литературным данным [5]. Масса выметанных половых продуктов определялась (в процентах от массы тел нерестящихся рыб), как разница массы гонад у нерестовых (стадии зрелости половых продуктов IV—V,V) и стадий после нереста (стадии зрелости VI, VI—II).

Метод обезвоживания половых продуктов использовался для определения содержания воды в половых продуктах рыбы. С этой целью неповрежденные гонады самцов и самок IV—V, V и VI, VI—II стадий зрелости помещали в вакуумный сушильный шкаф при температуре 56 °С и сушили в течении 3—4 суток для получения постоянной массы. Начиная со вторых суток сушки, половые продукты взвешивали на аналитических весах 2—4 раза в сутки с точностью до 0,001 г. При получении постоянного веса сушку прекращали. Всего была определена обезвоженная масса гонад нерестовых и посленерестовых стадий зрелости 15 самцов и 30 самок. Разница между массой гонад нерестовых и посленерестовых стадий зрелости дала массу половых продуктов, выраженную в процентах от массы тел.

*Потери на обмен, на выделенные продукты жизнедеятельности* не учитывались из-за того, что салака в период нереста практически не питается и находится в заливе минимальное время, из 400 исследованных рыб только 1 % содержали пищу в незначительных количествах.

*Потери за счет естественной смертности*, в том числе за счет выедания хищными рыбами и птицами, не учитывались из-за недостатка данных.

### Результаты исследования

Наиболее ранние заходы салаки в Вислинский залив отмечались в конце февраля, но основная масса салаки заходит в залив в марте-апреле в зависимости от температуры воды и состояния гидрологических условий. Оптимальная температура воды для нереста 5,4—6,9 °С [4]. Нерест обычно заканчивается в середине мая. Отнерестившиеся особи, не задерживаясь, уходят в море. Скот молоди салаки в Балтийское море проходит в июне-июле [9, 10].

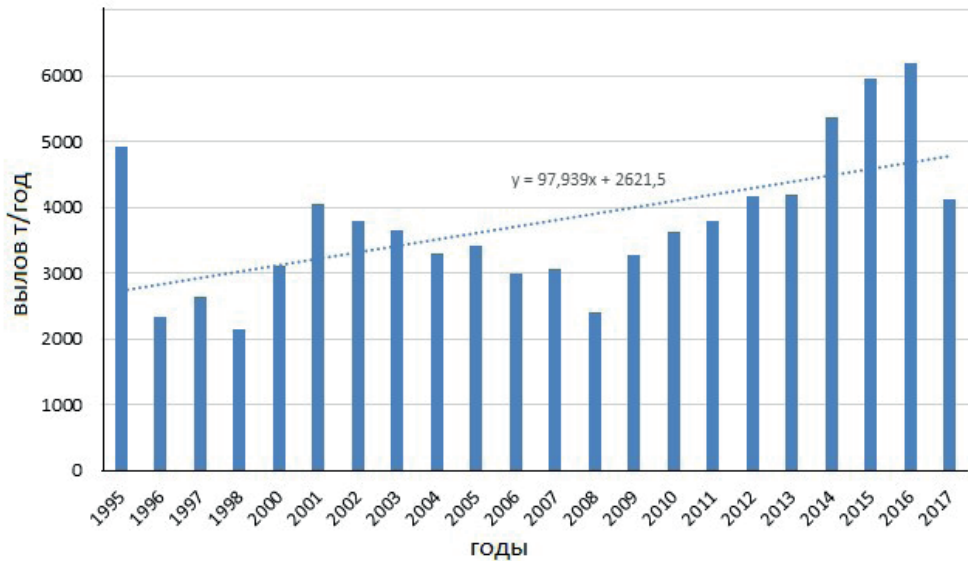


Рис. 1. Вылов салаки в Вислинском заливе в 1995—2017 гг. по данным [7].

Пунктирная линия – тренд вылова.

Fig. 1. Baltic herring catch in the Vistula Lagoon in 1995—2017.

The dotted line is the catch trend.

Промысел салаки в Вислинском заливе ведут ставными неводами рыбаки России и Польши на согласованном заранее уровне определения общего допустимого улова (ОДУ). Общий вылов двумя странами за 1995—2017 гг. (за исключением 1999 г. из-за недостоверной статистики) в среднем составлял 3733,7 т. Минимальный вылов наблюдался в 1998 г. — 2136,8 т, максимальный в 2016 г. — 6201,6 т (рис. 1) [7]. За последние 20 лет наблюдается тенденция увеличения выловов салаки. Тренд вылова салаки описывается линейным уравнением  $Y = 97,94x + 2621,5$ .

Для определения численности и биомассы салаки было сделано предположение, что в ходе нерестовой миграции в залив входит часть общего запаса «прибрежной» салаки, которая отличается от «морской» числом позвонков, структурой отолитов, темпом роста и другими признаками [9—11]. Статистика промысла отражает величину нерестового запаса, так как в ходе миграции в Вислинский залив входят только рыбы, участвующие в нересте [5].

Величина нерестового запаса определялась на основании данных об общем вылове и вылове на единицу промыслового усилия за ряд отрезков времени в течение промыслового сезона (пятидневка, декада) [12]. Данный метод применяется и сейчас.

Для расчета среднего нерестового запаса были взяты соотношения вылова и запаса за 1991—1993 гг. (запас определялся в млн экз.) [5]. Масса нерестового

запаса была определена как запас в млн экз., умноженный на среднюю массу экз. сельди-салаки данного года по Красовской [5] (табл. 1):

$$W_{pwi} = W_{ni} \times P_i \quad (1)$$

где  $W_{pwi}$  — масса нерестового запаса в году  $i$  (т);  $W_{ni}$  — численность нерестового запаса в году  $i$  (млн экз.);  $P_i$  — средняя масса экземпляра в году  $i$  (г).

Соотношение нерестового запаса к статистическому вылову по данным 1991—1993 гг. [5] позволяет с определенной мерой достоверности оценить долю вылова к нерестовому запасу в последующие годы (табл. 1):

$$G = W_{pwi} / Q \times 100, \quad (2)$$

где  $G$  — доля вылова к нерестовому запасу в году  $i$  в %;  $W_{pwi}$  — масса нерестового запаса в году  $i$  (т) (1);  $Q$  — масса вылова в году  $i$  (т).

Таблица 1

Расчет массы нерестового запаса (в т) и соотношение вылова и нерестового запаса (в %) салаки в Вислинском заливе

Calculation of the mass of the spawning stock (in the tons) and the ratio of the catch and the spawning stock (in %) of the Baltic herring in the Vistula Lagoon

Год	Нерестовый запас млн экз. ( $W_{ni}$ ) [5]	Средняя масса экз. в г ( $P_i$ ) [5]	Нерестовый запас, масса т (расчет) $W_{pwi}$	Вылов т/сезон $Q$ [5]	Доля вылова к запасу $G$ в % (расчет)
1990	185	88,1	16298,5	9558,4	58,6
1991	210	56,1	11781,0	7310,1	62,0
1992	154	57,6	8870,4	6857,9	77,3
1993	269	44,5	11970,5	6221,0	52,0

Исходя из рассчитанной доли вылова к запасу за 1990—1993 гг., получим, что средний вылов составляет 62,5 % от нерестового запаса (ошибка среднего 5,4 % и стандартное отклонение 10,7 %). В этом случае средняя численность непойманной и ушедшей после нереста в Балтийское море рыбы составляет 37,5 %.

Средняя масса входящей в залив на нерест рыбы ( $W_i$ ) составит сумму средней массы выловленной рыбы (по статистике), массы вылова при нелегальном промысле и улов любительского рыболовства (суммарно 7 %) [8] и массы салаки, непойманной при промысле (37,5 %) и ушедшей в море:

$$W_i = Q_i + J_i + F_i \quad (3)$$

где  $W_i$  — средняя масса входящей в залив рыбы в году  $i$  (т);  $Q_i$  — масса выловленной рыбы (по статистике) в году  $i$  (т);  $J_i$  — масса вылова при нелегальном промысле и уловы любительского рыболовства в году  $i$  (т) (7 %), экспертная оценка [8];  $F_i$  — масса сельди-салаки (37,5 % от вылова), непойманной при промысле в году  $i$  (т).

Средний вылов салаки с учетом вылова (7 %) при нелегальном и любительском лове составляет 3995,1 т/год. Таким образом, в последние 21 год на нерест в Вислинский залив заходило в среднем 5493,1 т/год салаки с учетом рыбы, вернувшейся в море (табл. 2).



Таблица 2

Расчет общей массы сельди-салаки,  
вошедшей в Вислинский залив на нерест  
Calculation of the total mass of the Baltic herring that entered  
the Vistula Lagoon for the spawning

Средняя масса вылова ( $Q_i$ ) (статистика), т/год	Средняя масса вылова (7 %) при нелегальном и любительском лове ( $J_i$ ), т/год	Средняя масса салаки (37,5 %), вернувшейся в море ( $F_i$ ), т/год	Средняя суммарная масса рыбы, вошедшей в залив ( $W_i$ ), т/год
$\frac{3733,7 \pm 244,1}{1118,5}$	$\frac{261,4 \pm 17,1}{78,3}$	$\frac{1498,2 \pm 97,9}{448,9}$	$\frac{5493,1 \pm 359,1}{1645,6}$

*Примечание.* В табл. 2 и последующих таблицах: над чертой среднее значение и стандартная ошибка среднего, под чертой стандартное отклонение.

Масса половых продуктов, выметанных во время нереста, состоит из массы половых продуктов самок (икра) и массы половых продуктов самцов (молоки):

$$W_{fm} = W_f + W_m, \quad (4)$$

где  $W_{fm}$  — масса выметанных половых продуктов;  $W_f$  — масса половых продуктов самок (5);  $W_m$  — масса половых продуктов самцов (6).

Расчет выполнен на основании биологического анализа салаки в 2009 г. Соотношение численности самок к самцам составило 53,25 % самок и 46,75 % самцов. Средняя масса самки — 55,33 г/экз., средняя масса самца — 51,05 г/экз. Таким образом, из общей средней массы, зашедшей на нерест рыбы в 2009 г. в 5493,1 т, масса самок составила 2925,1 т (53,25 %), масса самцов 2568,0 т (46,75 %).

Для оценки массы выметанных половых продуктов было сделано предположение, что масса выметанных половых продуктов есть средняя между средней массой гонад рыб IV—V, V (нерестовые рыбы) стадий зрелости и гонад рыб VI, VI—II (рыбы после нереста) стадий зрелости для самок и самцов (табл. 3):

$$W_f = W_{f (IV-V, V)} - W_{f (VI, VI-II)}, \quad (5)$$

где  $W_f$  — масса половых продуктов самок;  $W_{f (IV-V, V)}$  — средняя масса гонад самок IV—V, V стадии зрелости;  $W_{f (VI, VI-II)}$  — средняя масса гонад самок VI, VI—II стадии зрелости;

$$W_m = W_{m (IV-V, V)} - W_{m (VI, VI-II)}, \quad (6)$$

где  $W_m$  — масса половых продуктов самцов;  $W_{m (IV-V, V)}$  — средняя масса гонад самцов IV—V, V стадии зрелости;  $W_{m (VI, VI-II)}$  — средняя масса гонад самцов VI, VI—II стадии зрелости.

Исходя из расчетов (см. табл. 3), масса выметанных половых продуктов самок по формуле (5) составит в среднем 9,3 г или 14,9 % от веса тела, самцов по формуле (6) — 6,82 г или 11,8 % массы тела.

Часть салаки (37,5 %) полностью отнерестилась и вернулась в море, другая часть была изъята промыслом, ее половые продукты только частично попали в залив во время пребывания в ставных неводах и выборки улова.

Таблица 3

Расчет массы рыб и массы гонад нерестовых и после нерестовых особей салаки по данным 2009 г.

Calculation of the mass of the fish and the mass of the gonads of the spawning and after spawning Baltic herrings according to 2009 data

	самки		самцы	
	Масса, г	% от массы тела	Масса, г	% от массы тела
Средняя масса рыб IV—V, V стадии зрелости, г/экз	$\frac{57,52 \pm 1,69}{22,71}$		$\frac{52,47 \pm 1,49}{18,58}$	
Средняя масса рыб VI, VI—II стадии зрелости, г/экз	$\frac{43,86 \pm 2,43}{11,12}$		$\frac{40,9 \pm 2,26}{10,60}$	
Средняя масса гонад IV—V, V стадии зрелости	$\frac{10,11 \pm 0,49}{6,53}$	$\frac{16,69 \pm 0,34}{4,52}$	$\frac{7,85 \pm 0,39}{4,82}$	$\frac{14,21 \pm 0,39}{4,88}$
Средняя масса гонад VI, VI—II стадии зрелости	$\frac{0,81 \pm 0,07}{0,31}$	$\frac{1,80 \pm 0,08}{0,38}$	$\frac{1,03 \pm 0,32}{0,49}$	$\frac{2,41 \pm 0,73}{3,43}$

*Масса выметанных половых продуктов непойманных рыб*

Средняя масса салаки, отнерестившейся и ушедшей в море (37,5 %), составляет 2055,2 т; соотношение самок и самцов: 53,25 и 46,75 %, что позволяет рассчитать массу половых продуктов, выметанных в залив, для салаки, отнерестившейся и вернувшейся в море (табл. 4).

$$PL_f = P_f \times 0,149, \quad (7)$$

где  $PL_f$  — масса выметанных половых продуктов самок;  $P_f$  — масса отнерестившихся самок, т; 0,149 — коэффициент разницы между массами гонад самок нерестящихся рыб и рыб после нереста (14,9 % массы тела).

$$PL_m = P_m \times 0,118, \quad (8)$$

где  $PL_m$  — масса выметанных половых продуктов самцов;  $P_m$  — масса отнерестившихся самцов, т; 0,118 — коэффициент разницы между массами гонад самцов нерестящихся рыб и рыб после нереста (11,8 % массы тел).

Расчет показывает, что масса половых продуктов отнерестившихся и ушедших в море самок (6) — 162,6 т, самцов (7) — 113,8 т (табл. 4).

Таблица 4

Расчет массы половых продуктов, выметанных во время нереста (отнерестившиеся и вернувшиеся в море особи)

Calculation of the mass of the reproductive products swept during the spawning (spawned and returned to the sea individuals)

	% массы гонад от массы тел стадии IV—V, V	% массы гонад от массы тел стадии VI, VI—II	% массы половых продуктов от массы тел	Масса салаки (37,5 %), вернувшейся в море ( $F$ ), т/год	Масса выметанных половых продуктов, т
Самки	$\frac{16,7 \pm 0,3}{4,5}$	$\frac{1,8 \pm 0,1}{0,4}$	14,9	1098,4	162,6
Самцы	$\frac{14,2 \pm 0,4}{4,9}$	$\frac{2,4 \pm 0,7}{3,4}$	11,8	964,3	113,8

*Масса выметанных половых продуктов пойманных при промысле рыб*

При вылове салаки вместе с выловленной рыбой из залива изымаются ее половые продукты, но такое изъятие происходит не полностью. Особи с текучими половыми продуктами частично теряют их при извлечении улова из неводов или спонтанно нерестятся из-за скученности и задержки в ставном неводе. Оценить такие потери трудно, но они очевидны. Все сети ставных неводов покрыты икрой, а вода у ставных неводов в момент взятия улова мутная из-за попавших в нее половых продуктов. Биологический анализ на промысле показал, что по состоянию гонад видно, что часть особей IV—V и V стадий зрелости частично потеряли половые продукты до момента камерального анализа. Вероятное количество потерянных половых продуктов составляет около 15 %.

Средняя масса салаки, изъятая из водоема при промысле, с учетом вылова при нелегальном и любительском лове составляет 62,5 % (2) или 3995,1 т/год. Соотношения самок и самцов 53,25 % и 46,75 %, что составляет массу самок 2127,4 т, самцов 1867,7 т. С учетом процента массы половых продуктов от массы рыбы (самки 14,9 %, самцы 11,8 %), общая масса половых продуктов самок составит 314,8 т, самцов 220,4 т.

$$PC_f = W_{fc} \times 0,149, \tag{9}$$

где  $PC_f$  — теоретическая масса половых продуктов самок, изъятых при промысле;  $W_{fc}$  — масса выловленных самок; 0,149 — коэффициент массы половых продуктов (14,9 % массы тела самок).

$$PC_m = W_{mc} \times 0,118, \tag{10}$$

где  $PC_m$  — теоретическая масса половых продуктов самцов, изъятых при промысле;  $W_{mc}$  — масса выловленных самцов; 0,118 — коэффициент массы половых продуктов (11,8 % массы тела самцов).

Среднее количество особей на промысле в улове с половыми продуктами IV—V и V стадий зрелости для самок составляет 84,5 %, для самцов 83,3 %, что равно массе половых продуктов в 266,0 т для самок и 183,6 т для самцов.

$$PC_{fk} = PC_f \times 0,845, \tag{11}$$

где  $PC_{fk}$  — масса половых продуктов самок нерестовых стадий зрелости (IV—V и V);  $PC_f$  — теоретическая масса половых продуктов самок, изъятых промыслом; 0,845 — коэффициент самцов IV—V и V стадий зрелости (84,5 % самцов).

Из этого количества только 15 % половых продуктов останется в заливе, что составит для самок 39,9 т, для самцов 27,5 т (табл. 5).

Таблица 5

Расчет половых продуктов, попавших в залив при вылове салаки

Calculation of the reproductive products that entered the lagoon while Baltic herring catch

	Средний вылов, т/год	Средний % половых продуктов от массы тел рыб	Общая масса половых продуктов пойманных рыб, т	Масса половых продуктов нерестовых стадий, т (84,5 % — самки, 83,3 % — самцы)	% половых продуктов, попавших в воду при вылове	Масса выметанных половых продуктов, попавших в залив при вылове, т/год
Самки	2127,4	14,8	314,8	266,0	15	39,9
Самцы	1867,7	11,8	220,4	183,6	15	27,5

Общая масса половых продуктов салаки, попавших в воду при вылове, составляет для самок 39,9 т, для самцов — 27,5 т.

*Общая масса выметанных половых продуктов (рыб, ушедших в море после нереста, и рыб, пойманных при промысле)*

Суммирование массы половых продуктов, что были выметаны в залив ушедшими в море особями (самки 162,6 т, самцы 113,8 т), с массой половых продуктов рыб, попавших в залив при промысле (самки 39,9 т, самцы 27,5 т), показывает, что общая масса выметанных в залив половых продуктов салаки составляет 201,9 т для самок, 140,9 т для самцов. Суммарно — 342,8 т.

Процент сухого органического вещества половых продуктов самок составляет 25,64 % от влажной массы. Процент сухого органического вещества половых продуктов самцов составляет 17,69 % от влажной массы.

Перевод влажной массы выметанных в залив половых продуктов в сухие обезвоженные дает 51,8 т сухого органического вещества для самок и 24,9 т для самцов. Общее количество сухого органического вещества половых продуктов салаки, поступившее в залив при среднем улове, составляет 76,7 т.

В Вислинский залив на нерест по средним многолетним данным заходит 5493,1 т/год салаки, из этого количества в среднем 3995,1 т/год изымается промыслом, в море возвращается 1498,2 т/год. Таков упрощенный баланс массы салаки во время весенней нерестовой миграции в Вислинский залив. Уточняя данный баланс, нужно включить в него, кроме изъятия части массы рыбы промыслом, потери от естественной смертности, выедания хищниками, гибель от болезней и других естественных причин. Потери от выедания хищниками оценить сложно, но они есть. Салаку использует в пищу судак *Sander lucioperca* [13, 14], у которого около 50 % рациона состоит из молоди салаки [15]. Молодь салаки входит в питание чехони *Pelecus cultratus* и окуня *Perca fluviatilis*. Питаются салакой птицы-ихтиофаги — большой баклан (*Phalacrocorax carbo*) [16], чомга (*Podiceps cristatus*) и др. Однако степень выедания хищниками не столь значительна. Период нереста салаки совпадает с периодом нереста судака, питание которого в это время ограничено. Оценки потребления салаки птицами в Вислинском заливе нет, поэтому такие данные не учитывались в расчетах.

Уловы, отражающие массу нерестовой салаки, заходящей в Вислинский залив, и приведенные для среднего уровня, могут отличаться в разы. Так минимальный улов в 1998 г. составлял 2286,4 т, при этом нужно учесть 7 % нелегального и любительского вылова и 37 % рыбы, ушедшей в море. Тогда масса влажных органических половых продуктов, выметанная в залив, составит 193,9 т или в сухом органическом веществе 43,4 т. Аналогичный расчет, проведенный для максимального улова в 2016 г., дает 562,7 т влажных половых продуктов или 125,9 т сухого органического вещества.

Органическое вещество половых продуктов, поступившее в залив, разделяется на половые продукты, использованные для воспроизводства салаки и неиспользуемые для воспроизводства. В воды залива попадают сопутствующие нересту рыб биологические активные соединения стероидной и пептидной природы, некоторые из них могут стимулировать или подавлять рост гидробионтов залива, в частности

планктонных организмов. Другая часть, напрямую или через детритные пищевые цепи, становится пищевым ресурсом для гидробионтов. Часть органического вещества накапливается в виде органической составляющей илов и впоследствии минерализуется. Эти аспекты будут рассмотрены в последующих сообщениях.

### Выводы

В Вислинском заливе эволюционно сложилась устойчивая экологическая система, в которой важное значение для ее функционирования и определения экологического статуса водоема играет весенний массовый нерест салаки. В предлагаемой работе впервые была рассчитана масса органического вещества, поступающего при нересте салаки в воды залива. В среднем в залив поступает 201,9 т органического вещества половых продуктов самок и 140,9 т органического вещества половых продуктов самцов, суммарно 342,8 т влажной массы или 51,8 т сухого органического вещества для самок и 24,9 т для самцов. Поступающее в ходе нереста органическое вещество используется для воспроизводства салаки, служит пищевым ресурсом для гидробионтов. На определенном этапе входящие в половые продукты биологически активные вещества могут стимулировать или подавлять развитие планктонных ракообразных. Количественная оценка продуктивности, круговорота органического вещества Вислинского залива невозможна без учета поступающего в залив органического вещества половых продуктов салаки. Полученные расчеты могут быть использованы для количественных оценок продуктивности экосистемы залива.

### Список литературы

1. Рухлов Ф.Н. Жизнь тихоокеанских лососей. Южно-Сахалинск: Дальневосточное книжное издательство, 1982. 109 с.
2. Гриценко О.Ф. Проходные рыбы острова Сахалин (систематика, экология, промысел). М.: Изд-во ВНИРО, 2002. 248 с.
3. Географический атлас Калининградской области. Калининград: Изд-во КГУ, 2002. 276 с.
4. Красовская Н.В. Особенности динамики численности салаки в Вислинском заливе // Экологические рыбохозяйственные исследования в Вислинском заливе Балтийского моря. Калининград: АтлантНИРО, 1992. С. 121—150.
5. Красовская Н.В. Особенности динамики нереста и формирования урожайных поколений сельди (*Clupea harengus membras* L.) в Вислинском заливе в 1994—1995 гг. // Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 1994—1995 гг. Сборник научных трудов. Калининград: Изд-во АтлантНИРО, 1996. С. 29—44.
6. Шемина Э.И. Оценка запасов рыб и коэффициент уловистости // Рыбное хозяйство. 1977. № 4. С. 22—23.
7. Гуцин А.В., Шаврина И.А. Современное состояние промысловой ихтиофауны южной части Балтийского моря как следствие антропогенного воздействия. Сообщение 1. Вислинский залив // Региональная экология. 2018. № 2 (52). С. 43—53. doi: 10.30694/1026-5600-2018-2-43-53.
8. Гуцин А.В., Пысин И.И., Шаврина И.А. Браконьер и браконьерство (попытка социального портрета) // Рыбное хозяйство. 2010. № 1. С. 32—34.
9. Бирюков Н.П. Сельди Балтийского моря. Калининград: АтлантНИРО, 1970. 205 с.
10. Раннак Л.А. Салака *Clupea harengus membras* L. (биологические группировки, их изменчивость, микроэволюция и динамика численности): автореферат диссертации доктора биологических наук. Тарту, 1970. 77 с.

11. *Оявеер Э.А.* Биология и промысел балтийских сельдей: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук. Таллин: БалтНИИРХ, 1983. 29 с.
12. *Шапиро Л.С., Шемина Э.И.* Основы промысловых прогнозов салаки Вислинского залива // Океанологические исследования, биология и промысел рыб в Атлантическом океане и бассейне Балтийского моря. Калининград: АтлантНИРО, 1975. С. 108—127.
13. *Хлопников М.М.* Питание хищных рыб в Вислинском заливе Балтийского моря // Вопросы ихтиологии. 1992. Том 32, вып. 3. С. 171—176.
14. *Голубкова Т.А.* Эколого-биологическая характеристика и динамика запаса судака Куршского залива Балтийского моря: автореферат на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Калининград: АтлантНИРО, 2003. 24 с.
15. *Науменко Е.Н., Хлопников М.М., Рудинская Л.В.* Потоки энергии в экосистеме Вислинского (Калининградского) залива Балтийского моря // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2012. Том 2, выпуск 5. С. 184—202.
16. *Чайка К.В., Гришанов Г.В.* Рацион большого баклана и оценка влияния гнездовых колоний на рыбные запасы Куршского залива // Научный журнал «Известия КГТУ». 2017. Том 45. С. 112—123.

### References

1. *Ruhlov F.N. Zhizn' tihookeanskikh lososej.* The life of the Pacific salmon. Yuzhno-Sakhalinsk: Far Eastern Book Publishing House, 1982: 109 p. [In Russian].
2. *Gricenko O.F. Prohodnye ryby ostrova Sahalin (sistematika, ekologiya, promysel).* Anadromous fish of Sakhalin Island (taxonomy, ecology, fishing). Moscow: VNIRO Publishing House, 2002: 248 p. [In Russian].
3. *Geograficheskij atlas Kaliningradskoj oblasti.* Geographic Atlas of the Kaliningrad Region. Kaliningrad: Publishing house of KSU, 2002: 276 p. [In Russian].
4. *Krasovskaya N.V.* Peculiarities of the dynamics of the herring population in the Vistula Lagoon. *Ekologicheskie rybokhoziaistvennye issledovaniia v Vislinskom zalive Baltiiskogo moria.* Ecological fishery research in the Vistula Lagoon of the Baltic Sea. Kaliningrad: AtlantNIRO, 1992: 121—150. [In Russian].
5. *Krasovskaya N.V.* Peculiarities of spawning dynamics and the formation of productive generations of herring (*Clupea harengus membras* L.) in the Vistula Bay in 1994—1995. *Promyslovo-biologicheskie issledovaniia AtlantNIRO v 1994—1995 gg. Sbornik nauchnykh trudov.* Commercial and biological research of AtlantNIRO in 1994—1995. Collection of scientific problems. Kaliningrad: Publishing house AtlantNIRO, 1996: 29—44. [In Russian].
6. *Shemina E.I.* Evaluation of fish stocks and the coefficient of catching. *Rybnoe Khozyaistvo.* Fish industry. 1977, 4: 22—23. [In Russian].
7. *Gushchin A.V., Shavrina I.A.* The current state of commercial fish fauna in the southern part of the Baltic Sea as a result of anthropogenic impact. Message 1. Vistula Lagoon. *Regional'naiia ekologiya.* Regional Ecology, 2018: 52(2): 43—53. doi: 10.30694/1026-5600-2018-2-43-53. [In Russian].
8. *Gushchin A.V., Pysin I.I., Shavrina I.A.* Poacher and poaching (an attempt of a social portrait). *Rybnoe Khozyaistvo.* Fish industry. 2010, 1: 32—34. [In Russian].
9. *Biryukov N.P. Sel'di Baltijskogo morya.* Herring of the Baltic Sea. Kaliningrad: AtlantNIRO, 1970: 205 p. [In Russian].
10. *Rannak L.A. Salaka Clupea harengus membras L. (biologicheskie gruppirovki, ih izmenchivost', mikroevolyuciya i dinamika chislennosti).* Baltic herring *Clupea harengus membras* L. (biological groupings, their variability, microevolution and population dynamics). Grand PhD Thesis. Tartu, 1970: 77 p. [In Russian].
11. *Oyaveer E.A. Biologiya i promysel baltiyskikh sel'dej.* Biology and fishing of Baltic herring. PhD Thesis. Tallinn: BaltNIIRKH, 1983: 29 p. [In Russian].
12. *Shapiro L.S., Shemina E.I.* Fundamentals of fishing forecasts for herring in the Vistula Lagoon. Oceanological research, biology and fishing in the Atlantic Ocean and the Baltic Sea basin. Kaliningrad: AtlantNIRO, 1975: 108—127. [In Russian].

13. *Hlopnikov M.M.* Nutrition of predatory fish in the Vistula Lagoon of the Baltic Sea. *Issues of ichthyology*. 1992. 32 (3): 171—176. [In Russian].
14. *Golubkova T.A.* *Ekologo-biologicheskaya harakteristika i dinamika zapasa sudaka Kurshskogo zaliva Baltijskogo morya*. Ecological and biological characteristics and dynamics of the stock of zander in the Curonian Lagoon of the Baltic Sea. PhD Thesis. Kaliningrad: AtlantNIRO, 2000: 24 p. [In Russian].
15. *Naumenko E.N., Hlopnikov M.M., Rudinskaya L.V.* Energy flows in the ecosystem of the Vistula (Kaliningrad) bay of the Baltic Sea. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Biologiya*. Journal of the Siberian Federal University. Biology. 2012. 2 (5): 184—202. [In Russian].
16. *Chajka K.V., Grishanov G.V.* The diet of the great cormorant and the assessment of the influence of nesting colonies on fish stocks in the Curonian Lagoon. *Nauchnyi zhurnal «Izvestia KGTU»*. Scientific journal Izvestia KSTU. 2017, 45: 112—123. [In Russian].

### ***Информация об авторах***

*Гущин Алексей Витальевич*, канд. биол. наук, ст. научный сотрудник, лаборатория морской экологии Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Poseidon-47@rambler.ru.

*Полунина Юлия Юрьевна*, канд. биол. наук, ст. научный сотрудник, лаборатория морской экологии Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, jul\_polunina@mail.ru.

### ***Information about authors***

*Gushchin Alexey Vitalievich*, PhD (Biol. Sci.), Senior scientific researcher, The P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Poseidon-47@rambler.ru.

*Polunina Yulia Yurievna*, PhD (Biol. Sci.), Senior scientific researcher, The P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, jul\_polunina@mail.ru.

**Конфликт интересов:** конфликт интересов отсутствует.

*Статья поступила 12.10.2021.*

*Принята к публикации после доработки 21.03.2022.*

*The article was received on 12.10.2021.*

*The article was accepted after revision on 21.03.2022.*

Гидрометеорология и экология. 2022. № 67. С. 256—266.  
Hydrometeorology and Ecology. 2022; (67): 256—266.

## ***ГЕОЭКОЛОГИЯ***

---

Научная статья  
УДК 502.3:504.5:351.777.6:351.814.1  
doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-256-266

### **Об обосновании подхода к расчету выбросов парниковых газов от международного аэропорта гражданской авиации**

***А.А. Павловский, Г.Н. Петерсон, В.И. Шамшури  
И.В. Крапивин, К.В. Михайлов***

НИПЦ Генплана Санкт-Петербурга, Санкт-Петербург, Россия, pal@yandex.ru

*Аннотация.* Данная статья посвящена обоснованию выбора методики расчета выбросов парниковых газов в аэропортах, так как на долю авиационного транспорта приходится около 2,4 % от общих выбросов парниковых газов. По прогнозу к 2050 г. эта цифра может утроиться. С этой целью использован рекомендованный ИКАО программный комплекс AEDT. Показано, что от аэропорта «Пулково» с интенсивностью полетов в 170 тыс. взлетно-посадочных операций в год (примерно 18—19 млн пассажиров/год) суммарный выброс CO<sub>2</sub> составляет 275 тыс. т/год. По этапам полета выброс парниковых газов разделяется следующим образом: 72 % приводится на взлет, 28 % на посадку.

*Ключевые слова:* парниковые газы, выброс, международный аэропорт, взлетно-посадочная операция.

*Для цитирования:* Павловский А.А., Петерсон Г.Н., Шамшури В.И., Крапивин И.В., Михайлов К.В. Об обосновании подхода к расчету выбросов парниковых газов от международного аэропорта гражданской авиации // Гидрометеорология и экология. 2022. № 67. С. 256—266. doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-256-266.

## ***GEOECOLOGY***

---

Original article

### **On the justification for the approach to calculating greenhouse gas emissions from the International Civil Aviation Airport**

***A.A. Pavlovskii, G.N. Peterson, V.I. Shamshurin,  
I.V. Krapivin, K.V. Mikhailov***

State Research and Project Center of St. Petersburg Master Plan, St. Petersburg, Russia

*Summary.* According to modern climatology, the main cause of global warming is anthropogenic greenhouse gas emissions and an increase in their concentrations in the atmospheric air. Aviation transport emits approximately 2.4 % of total global greenhouse gas emissions.

© А.А. Павловский, Г.Н. Петерсон, В.И. Шамшури, И.В. Крапивин, К.В. Михайлов, 2022



The current strategic development plans of Russia are aimed at reducing the energy intensity of the Russian economy, the transition of the economy to sustainable and balanced development, and achieving «carbon neutrality». The main goals of the Russian economy are to reduce greenhouse gas emissions by 2030 to 70 % compared to 1990 levels.

In this regard, it is important to conduct an inventory of greenhouse gas emissions from aviation transport and develop a set of measures to maximize their reduction. For this, among other things, it is necessary to build a detailed model of air traffic in the areas of the largest international airports in Russia.

This article is aimed at solving the problem of justifying the choice of methods for calculating greenhouse gas emissions from airports. The article provides a comparative analysis of the current Russian guidelines, IPCC methodology, as well as the AEDT software package. As a result, it has been shown that the most detailed methodology for calculating greenhouse gas emissions is the AEDT software package.

As a result of the calculations, it has been shown that from the Russian airport with a flight rate of 170 thousand takeoff and landing operations per year (approximately 18—19 million passengers/year), the total CO<sub>2</sub> emission is 275 thousand tons/year. According to the stages of the flight, the emission of greenhouse gases was divided as follows: 72 % is given for takeoff, 28 % for landing.

*Keywords:* greenhouse gases, emissions, international airport, take-off and landing operation.

*For citation:* Pavlovskii A.A., Peterson G.N., Shamshurin V.I., Krapivin I.V., Mikhailov K.V. On the justification for the approach to calculating greenhouse gas emissions from the International Civil Aviation Airport. *Gidrometeorologiya i Ekologiy = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2022; (67): 256—266. [In Russian]. doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-256-266.

## Введение

Современные изменения климата и их последствия являются глобальной проблемой человечества и угрозой его устойчивому развитию на текущее и последующие столетия. Согласно существующей научной теории, основной причиной и индикатором происходящих климатических изменений является увеличение концентрации термодинамически активных примесей в атмосферном воздухе, прежде всего, углекислого газа (CO<sub>2</sub>), метана (CH<sub>4</sub>), закиси азота (N<sub>2</sub>O). В последние годы средние концентрации в атмосфере составляют: 410 млн<sup>-1</sup> для CO<sub>2</sub>, 1866 ppb для CH<sub>4</sub> и 332 ppb для N<sub>2</sub>O. При этом в рядах многолетних наблюдений отмечаются устойчивые линейные тренды — например, в декабре 2021 г. глобальная среднемесячная концентрация CO<sub>2</sub> составила 417 млн<sup>-1</sup>. Таким образом, в настоящее время концентрация углекислого газа в атмосферном воздухе превысила свои доиндустриальные значения (период около 1750 г.) в 1,5 раза [1].

Согласно Рамочной конвенции ООН об изменении климата, последствия глобального потепления могут повлиять на наземные и морские экосистемы, мировую экономику и человечество в целом. В связи с этим на международном, национальном и местном уровне принята система нормативных актов, предусматривающих учет выбросов парниковых газов на основе расчетов и результатов наблюдений, а также разработку мероприятий по стабилизации их концентраций в атмосфере. Международным сообществом ставится задача по сдерживанию изменения климата повышением средней глобальной приземной температуры воздуха на уровне 1,5 °C по сравнению с ее значениями в доиндустриальный период [2].

Достижение данной цели возможно при устойчивом сценарии социально-экономического развития человеческой цивилизации «SSP1», предполагающем сокращение неравенства между странами, снижения ресурсо- и энергоемкости мировой экономики. В соответствии с данным сценарием рост концентрации

парниковых газов в атмосфере должен стабилизироваться в 2030 г. и начать снижаться после 2050 г. Это предполагает, что уже в 2020-е годы должна наметиться устойчивая тенденция к сокращению суммарных выбросов парниковых газов [1].

Согласно Парижскому соглашению от 12 декабря 2015 г., заключенному в развитие Рамочной конвенции ООН об изменении климата, и Указу Президента РФ от 04.11.2020 № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов», Россия в целях обеспечения развития глобального потепления по сценарию «SSP1», должна к 2030 г. снизить выбросы парниковых газов до 70 % относительно уровня 1990 г.

Соответственно, достижение заявленных целей требует перехода российской экономики к устойчивому и сбалансированному социально-экономическому развитию, проведению инвентаризации источников выбросов парниковых газов, разработки технологических и технических мероприятий по их сокращению.

Одним из значимых источников выбросов парниковых газов в атмосферу, ответственным за 2,4 % от глобальной эмиссии, являются взлетно-посадочные операции, осуществляемые гражданским, государственным и экспериментальным авиационным транспортом. При этом с учетом развития мировой гражданской авиации наблюдается устойчивая тенденция к увеличению выбросов парниковых газов от нее [3].

В связи с вышеперечисленными обстоятельствами задача по расчету эмиссий парниковых газов от воздушных судов, осуществляющих взлет и посадку в крупном международном аэропорту, представляется актуальной и имеет научно-практическую значимость для формирования отчетов и ведения кадастра, реестра антропогенных выбросов [4, 5].

Цель данного исследования состоит в том, чтобы на примере крупного российского аэропорта с использованием детальной информации о маршрутах и количестве взлетно-посадочных операций произвести оценку годового количества выбросов парниковых газов.

### **Методика исследования**

Эмиссия парниковых газов при эксплуатации воздушных судов (ВС) связана со сжиганием топлива, при этом, с точки зрения парниковых газов, приблизительно 72 % приходится на  $\text{CO}_2$ , 27,6 % на  $\text{H}_2\text{O}$  и менее чем 0,5 % на  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_x$  и сажу [6] (см. рис. 1). В связи с незначительностью выбросов оксидов азота при оценке эмиссии парниковых газов от авиации целесообразно учитывать только  $\text{CO}_2$ , что подтверждено Приложением № 1 Методических указаний и руководств по количественному определению объема выбросов парниковых газов организациями, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность в Российской Федерации.

В настоящее время в России имеется возможность использовать следующие утвержденные методики, которые могут быть применены для решения поставленной задачи:

1) методические указания и руководства по количественному определению объема выбросов парниковых газов организациями, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность в Российской Федерации, утвержденные приказом Минприроды России от 30.06.2015 № 300;

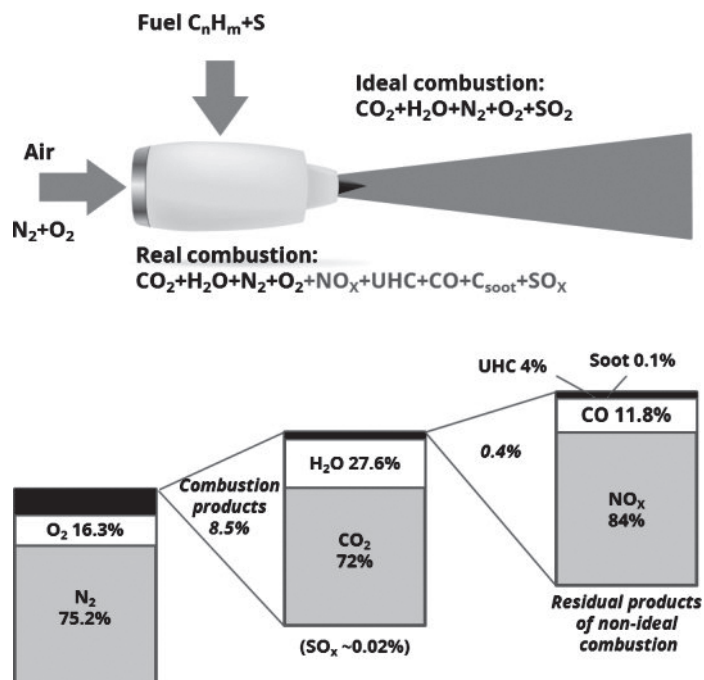


Рис. 1. Схема сгорания авиационного топлива [6]

Fig. 1. Aircraft fuel combustion [6]

2) программный комплекс Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) для составления национальных кадастров парниковых газов (<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/software/index.html>);

3) программный комплекс AEDT (Авиационный инструмент проектирования окружающей среды) для моделирования воздействия авиационного транспорта на окружающую среду, рекомендованный к использованию Международной организацией гражданской авиации (ИКАО) (<https://aedt.faa.gov/>).

В данной статье выполнен сравнительный анализ вышеперечисленных методик и их возможностей для расчета выбросов парниковых газов в крупном международном аэропорту для различных целей: при оценке удельных эмиссий  $CO_2$  при перевозке пассажиров и при инвентаризации на уровне хозяйствующего субъекта [7].

Методические указания, утвержденные приказом Минприроды России, предполагают оценку эмиссий на основании сведений о расходе топлива, используемого для осуществления авиационных перевозок за выбранный период. Расход топлива может определяться по данным поставщика топлива или по данным измерений, выполненных непосредственно на воздушном судне.

Категория источников выбросов парниковых газов «Авиационный транспорт» российских Методических указаний включает выбросы  $CO_2$ , возникающие

в результате потребления авиационного топлива только самолетами при внутренних перелетах. В связи со спецификой области применения российской методики для организаций, осуществляющих хозяйственную и иную деятельность на территории Российской Федерации, она не предполагает учет выбросов от международных авиарейсов, полетов государственной и экспериментальной авиации.

Методика МГЭИК так же, как и российская, базируется на данных о потреблении топлива, однако предоставляет и возможность расчета потраченного топлива при условии, что известны параметры взлетно-посадочных операций. Такой подход позволяет получать более объективные оценки эмиссии парниковых газов без получения сведений от оператора аэродрома или авиакомпаний [5].

В целях обеспечения единого подхода для различных расчетов негативного воздействия на качество атмосферного воздуха ИКАО введено понятие стандартного взлетно-посадочного цикла. Данный цикл включает в себя все операции воздушного судна с момента запуска двигателей до набора им высоты 915 м, а также с этапа захода на посадку с высоты 915 м до остановки двигателя на аэродроме. Стандартный взлетно-посадочный цикл обобщает информацию о продолжительности указанных этапов, а также о характерных значениях тяги двигателей на них [4] (см. табл. 1 и рис. 2).

Таблица 1

Параметры взлетно-посадочного цикла ИКАО [4]  
ICAO take-off and landing cycle parameters [4]

Эксплуатационный этап	Длительность этапа (мин)		Режим тяги (процент от номинальной тяги)
Заход на посадку		4,0	30
Руление и режим земного газа	26	7,0 (прилет)	7
		19,0 (вылет)	
Взлет		0,7	100
Набор высоты		2,2	85



Рис. 2. Схема движения воздушного судна во время стандартного взлетно-посадочного цикла [4].

Fig. 2. Diagram of aircraft movement during the standard take-off and landing cycle [4].

Следует отметить, что в целом коэффициенты выбросов  $\text{CO}_2$  при сжигании топлива относительно нечувствительны к технологии работы авиационного двигателя. При расчетах количество выбрасываемого  $\text{CO}_2$  зависит, прежде всего, от количества сожженного топлива и его типа. В подавляющем большинстве случаев это авиационный керосин. Авиационный бензин может использоваться отдельными типами воздушных судов с поршневыми двигателями, например, вертолетом Robinson R22 или самолетом Ан-2, но доля таких летательных аппаратов в крупных аэропортах стремится к нулю, а в целом в России составляет 1—2 %. Все три методики предлагают одинаковые коэффициенты эмиссии  $\text{CO}_2$ . Для авиационного керосина  $K_{\text{э}} = 3,155$  ( $K_{\text{э}}$ , тонн  $\text{CO}_2$  на тонну керосина).

Согласно этому подходу, предлагается использовать табличные данные по среднему расходу топлива, затрачиваемому на взлет и посадку (движение воздушного судна ниже 915 м над уровнем аэропорта) и при движении между аэродромами. Предлагаемые стандартные значения расхода топлива позволяют учесть особенности основных типов воздушных судов: дальнемагистральных, среднемагистральных, региональных реактивных и турбовинтовых.

С использованием сведений о количестве взлетно-посадочных операций (ВПО) и средней дальности полета для каждого из типов воздушных судов, можно получить оценку эмиссии. Очевидным плюсом такого метода является возможность отдельно получить эмиссии для международных, национальных перелетов, а также, по необходимости, выделять и другие категории.

Подобный подход, основанный на расчете выброса парниковых газов при перелетах пассажиров между аэропортами России и мира по данным о расходе авиационного топлива и дальности перелета, широко используется авиакомпаниями и поисковыми интернет-системами при ориентировочных ([https://www.aeroflot.ru/ru-ru/about/calculator\\_co2](https://www.aeroflot.ru/ru-ru/about/calculator_co2)).

Однако такой упрощенный подход не вполне применим, когда речь идет об инвентаризации выбросов парниковых газов на уровне субъекта хозяйственной деятельности или в целом по территории региона.

Расчетная методика, примененная в программном комплексе AEDT, является наиболее детальной из рассматриваемых в данной статье, но при этом и наиболее сложной, так как значительно более требовательна к качеству исходных данных. Данная программа разработана для расчета выбросов загрязняющих веществ от всех типов воздушных судов гражданской, государственной и экспериментальной авиации, эксплуатируемых в различных аэропортах и аэродромах мира. Важно отметить, что в AEDT имеется возможность производить расчеты выбросов парниковых газов от вертолетов.

Такие расчеты базируются на наиболее полной доступной базе данных технических и аэродинамических характеристик большого количества воздушных судов. При расчете используется динамическая модель, воспроизводящая все этапы взлетно-посадочного цикла с учетом конкретных параметров аэродрома и отдельных типов воздушных судов.

Важной характеристикой аэропорта, влияющей на расход топлива при взлете и заходе на посадку воздушных судов, является высота его расположения над

уровнем моря. Пониженное давление и разреженный воздух создают меньшую подъемную силу для летательных аппаратов, что приводит к увеличению расхода топлива авиационными двигателями как на взлете, так и при заходе на посадку.

В связи с вышеперечисленными обстоятельствами, в данной статье для расчета выбросов парниковых газов от международного аэропорта выбрана методика AEDT. В расчете учтены только выбросы на высотах до 915 м (3000 футов), что соответствует стандартному взлетно-посадочному циклу ИКАО.

В работе использованы следующие основные этапы полета: снижение воздушного судна от 915 м до земной поверхности, прокат по взлетно-посадочной полосе, применение реверса для торможения, движение по рулежным дорожкам до места стоянки и до места взлета, разбег по взлетно-посадочной полосе, набор высоты до 915 м.

В статье рассматривается равнинный аэропорт, в котором годовой пассажиропоток равен примерно 18—19 млн человек, что соответствует таким международным аэропортам, как «Пулково» или «Внуково».

Сведения о количестве взлетно-посадочных операций получены с официального сайта аэропорта «Пулково» [https://pulkovoairport.ru/about/about\\_pulkovo/performance/](https://pulkovoairport.ru/about/about_pulkovo/performance/). В расчете приняты значения об интенсивности воздушного движения по состоянию на 2019 г., до принятия мер по противодействию распространению новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Физические параметры взлетно-посадочной полосы, а также стандартные маршруты взлета и посадки воздушных судов на аэродроме взяты по данным Филиала «Центр Аэронавигационной Информации» ФГУП «Госкорпорация по ОрВД»: [http://www.caiga.ru/ANI\\_Official/Aip/html/rus.htm/](http://www.caiga.ru/ANI_Official/Aip/html/rus.htm/).

Анализ исходных данных показал, что 90 % всех годовых взлетно-посадочных операций приходится на 8 типов воздушных судов (производства европейского консорциума «Airbus S.A.S», американской корпорации «Boeing», канадской авиастроительной компании «Bombardier Aerospace», бразильской компании «Embraer») и одно российское «Корпорации «Иркут».

В расчете принято 168 572 взлетно-посадочных операций в год или, с учетом округления до целых, 462 в средние сутки. Перечень основных типов и/или семейств воздушных судов, характерных для среднего статистического летного дня и использованных при расчете выбросов парниковых газов, приведен в табл. 2.

Таблица 2

Перечень основных типов и/или семейств воздушных судов в средний за 2019 г. летный день

List of main aircraft types and/or families on an average flight day in 2019 year

№	Тип воздушного судна	Взлеты	Посадки
1	Airbus A318/319/320	123	123
2	Boeing 737-800	29	29
3	Boeing 737-500	27	27
4	Embraer 190/170 / Sukhoi Superjet 100-95	13	13
5	Airbus A330-200/300	13	13

Окончание табл. 2

№	Тип воздушного судна	Взлеты	Посадки
6	Bombardier CRJ-200	11	11
7	Airbus A321-100	8	8
8	Bombardier DHC-8/ATR72	7	7
	Итого:	231	231

Вклад иных воздушных судов, особенно отечественного производства, в общее количество взлетно-посадочных операций незначителен.

### Результаты исследований

Из выполненных расчетов следует, что суммарный выброс парниковых газов в районе аэродрома от взлетно-посадочных операций международного аэропорта с годовым пассажиропотоком в 18—19 млн человек, то есть примерно до набора воздушным судном высоты 915 м, составляет около 275 тыс. т CO<sub>2</sub>/год. Выброс парниковых газов разделится следующим образом по этапам полета: 72 % приводится на взлет, 28 % на посадку, что обусловлено, прежде всего, существенным различием в величине тяги авиационных двигателей во время этих операций (см. таблицы 1, 3).

В рассматриваемом случае, который типичен для большинства российских международных аэропортов, более 50 % суммарных выбросов CO<sub>2</sub> приходится на семейство узкофюзеляжных самолетов Airbus A320. Вторым по значимости типом самолетов, выбрасывающим примерно 25 % эмиссии парниковых газов, является Boeing 737. На остальные воздушные суда приходится оставшиеся 25 %.

В результате работы показано, что основным источником выбросов парниковых газов в авиационном транспорте является семейство узкофюзеляжных самолетов для авиалиний малой и средней протяженности, а при разработке мероприятий по снижению негативного воздействия авиационного транспорта на здоровье и среду обитания человека основное внимание следует сосредоточить на этапе полета — взлет.

Таблица 3

Результат расчета эмиссии CO<sub>2</sub> от взлетно-посадочных операций (ВПО) (до высоты 915 м) в международном аэропорту с пассажиропотоком в 18—19 млн чел./год

The result of calculating the emission of CO<sub>2</sub> from take-off and landing operations (up to an altitude of 915 m) at an international airport with a passenger traffic of 18—19 million people/year

Тип воздушного судна	Этап	Расход топлива (кг)	Путь ниже 915 м, км	Время движения, мин	Выброс CO <sub>2</sub> , кг/ВПО	ВПО в день	CO <sub>2</sub> в день, тонн	тонн CO <sub>2</sub> /год
Airbus A318/319/320	Полет	284	40	14,4	897	123	110,4	40280
Boeing 737-800	Полет	311	47	15,6	982	29	28,5	10399
Boeing 737-500	Полет	255	36	14,1	803	27	21,7	7915
Embraer 190/170/Sukhoi Superjet 100-95	Полет	168	36	14,1	530	13	6,9	2514

Тип воздушного судна	Этап	Расход топлива (кг)	Путь ниже 915 м, км	Время движения, мин	Выброс CO <sub>2</sub> , кг/ВПО	ВПО в день	CO <sub>2</sub> в день, тонн	тонн CO <sub>2</sub> /год
Airbus A330-200/300	Полет	596	44	15,1	1881	13	24,5	8925
Bombardier CRJ-200	Полет	211	36	13,8	665	11	7,3	2670
Airbus A321-100	Полет	317	42	14,4	999	8	8,0	2917
Bombardier DHC-8/ATR72	Полет	59	36	16,1	187	7	1,3	479
Airbus A318/319/320	Взлет	738	27	19,3	2327	123	286,2	104471
Boeing 737-800	Взлет	759	28	19,4	2396	29	69,5	25361
Boeing 737-500	Взлет	723	30	19,8	2280	27	61,6	22466
Embraer 190/170/Sukhoi Superjet 100-95	Взлет	466	24	18,8	1469	13	19,1	6971
Airbus A330-200/300	Взлет	1710	31	19,8	5396	13	70,1	25604
Bombardier CRJ-200	Взлет	371	30	19,6	1169	11	12,9	4694
Airbus A321-100	Взлет	861	29	19,5	2715	8	21,7	7928
Bombardier DHC-8/ATR72	Взлет	174	41	23,4	550	7	3,8	1404

### Выводы

Применение наиболее детальной и апробированной методики — программного комплекса AEDT (авиационного инструмента проектирования окружающей среды), рекомендованного к использованию Международной организацией гражданской авиации, позволило оценить годовое количество выбросов парниковых газов от крупнейшего международного аэропорта России.

Использование данных о стандартных маршрутах взлета и посадки воздушных судов, представленных в аэронавигационных паспортах аэродромов, а также подробных сведений о составе воздушного движения, позволяет получать обоснованные результаты в части оценок выбросов парниковых газов от взлетов и посадок воздушных судов гражданской, государственной и экспериментальной авиации, осуществляющих полеты в районах аэродромов.

В работе установлено, что основными источниками выбросов парниковых газов от авиационного транспорта в России являются семейства узкофюзеляжных самолетов Airbus A320 и Boeing 737.

В условиях выполнения государственной программы по импортозамещению для достижения целевых показателей по сокращению выбросов парниковых газов от российской экономики до 2050 г., в части декарбонизации авиационного транспорта, основное внимание следует уделять существующим российским ближнемагистральным самолетам Sukhoi Superjet 100 и перспективным среднемагистральным самолетам MC-21, а также авиационным двигателям PowerJet SaM146 (СМ 146) и семейству двигателей ПД (Перспективный Двигатель).

Для снижения негативного воздействия на качество атмосферного воздуха основное внимание следует уделять этапу полета «взлет», так как на него приходится более 70 % выброса парниковых газов в районе аэродрома.



Программный комплекс АЕДТ может использоваться аэропортами, аэродромами при подготовке ими, как хозяйствующими субъектами, отчетов об инвентаризации выбросах парниковых газов.

### *References*

1. IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
2. IPCC, 2018: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. In Press.
3. Graver B., Zhang K., Rutherford D. CO2 Emissions from commercial aviation, 2018. International Council on Clean Transportation (ICCT). Working Paper. 2019-16.
4. Doc 9889 Airport Air Quality Manual. Second Edition. 2020.
5. IPCC, 2006: Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2. Energy.
6. Wuebbles D.J., Gupta M.L., Ko M.K.W. Evaluating the Impacts of Aviation on Climate Change. Eos Transactions American Geophysical Union. 2007. doi: 10.1029/2007EO140001.
7. Agrawal H., Sawant A.A., Jansen K., Miller J.W., Cocker III D.R. Characterization of chemical and particulate emissions from aircraft engines. Atmospheric Environment. 2008, 42, 18: 4380—4392.

### *Информация об авторах*

*Павловский Артем Александрович*, д-р геогр. наук, начальник отдела, Санкт-Петербургское государственное казенное учреждение «Научно-исследовательский и проектный центр Генерального плана Санкт-Петербурга», pal@yandex.ru.

*Петерсон Глеб Николаевич*, руководитель группы инженеров, Санкт-Петербургское государственное казенное учреждение «Научно-исследовательский и проектный центр Генерального плана Санкт-Петербурга», glebpeterson@gmail.com.

*Шамшуринов Вадим Илларионович*, руководитель группы инженеров, Санкт-Петербургское государственное казенное учреждение «Научно-исследовательский и проектный центр Генерального плана Санкт-Петербурга», gc.shamshurin@gmail.com.

*Крапивин Игорь Николаевич*, канд. геогр. наук, главный специалист, Санкт-Петербургское государственное казенное учреждение «Научно-исследовательский и проектный центр Генерального плана Санкт-Петербурга», dega45@mail.ru.

*Михайлов Кирилл Владимирович*, заместитель начальника отдела, Санкт-Петербургское государственное казенное учреждение «Научно-исследовательский и проектный центр Генерального плана Санкт-Петербурга», kmgeomorfol@mail.ru.

### *Information about authors*

*Pavlovskii Artem Alexandrovich*, Doctor of Sciences (Geogr.), Head of department, State Research and Design Center of Saint-Petersburg's Master Plan.

*Peterson Gleb Nikolaevich*, Head of engineers' group, State Research and Design Center of Saint-Petersburg's Master Plan.

*Shamshurin Vadim Illarionovich*, Head of engineers' group, State Research and Design Center of Saint-Petersburg's Master Plan.

*Krapivin Igor Nikolaevich*, PhD (Geogr. Sci.), Chief specialist, State Research and Design Center of Saint-Petersburg's Master Plan.

*Mikhailov Kirill Vladimirovich*, Assistant department head, State Research and Design Center of Saint-Petersburg's Master Plan.

**Конфликт интересов:** конфликт интересов отсутствует.

*Статья поступила 17.04.2022.*

*Принята в печать 12.05.2022.*

*The article was received on 17.04.2022.*

*The article was accepted on 12.05.2022.*

Гидрометеорология и экология. 2022. № 67. С. 267—282.  
Hydrometeorology and Ecology. 2022; (67): 267—282.

## ***ГЕОИНФОРМАТИКА***

Научная статья

УДК 004.65:[556.535.8:502.173](282.255.12)

doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-267-282

### **Структура территориального мониторинга и базы данных для оценки техногенной нагрузки бассейна реки Вахш (Республика Таджикистан)**

***Икбол Абдугафорович Куватов<sup>1</sup>,  
Илья Александрович Шишкин<sup>2</sup>, Иван Владимирович Антонов<sup>1</sup>,  
Наджибулло Рабизода<sup>3</sup>***

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики, Санкт-Петербург, Iqbol\_90@inbox.ru

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП), Санкт-Петербург

<sup>3</sup> Международный университет туризма и предпринимательства Таджикистана, Душанбе

*Аннотация.* В работе представлен ГИС-проект территориального мониторинга р. Вахш, который содержит информацию о водных объектах бассейна реки, основных источниках техногенного воздействия, качественные и количественные показатели состава воды по постам контроля. Приводится линейная схема бассейна, с указанием промышленных и сельскохозяйственных источников воздействия. Выполнена оценка качества воды по удельному комбинаторному индексу загрязненности воды (УКИЗВ) за 2014—2018 гг., а также проанализирована информация по предприятиям-водопользователям и выявлены основные промышленные и сельскохозяйственные предприятия, вносящие основной вклад в загрязнение водных объектов, определены участки с различными уровнями загрязнения воды и репрезентативные показатели ее качества.

*Ключевые слова:* река Вахш, техногенная нагрузка, база геоданных, геоинформационная система, водохозяйственный участок, индекс загрязненности воды.

*Благодарности.* Авторы выражают благодарность Министерству энергетики и водных ресурсов Республики Таджикистан и Агентству по гидрометеорологии Комитета охраны окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан за предоставление данных для настоящего исследования.

*Для цитирования:* Куватов И.А., Шишкин И.А., Антонов И.В., Рабизода Н. Структура территориального мониторинга и базы данных для оценки техногенной нагрузки бассейна реки Вахш (Республика Таджикистан) // Гидрометеорология и экология. 2022. № 67. С. 267—282. doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-267-282.

Original article

## **Territorial monitoring structure and database for the assessment of technogenic load in the Vakhsh River basin (Republic of Tajikistan)**

*Ikbol A. Kuvatov<sup>1</sup>, Ilia A. Shishkin<sup>2</sup>, Ivan V. Antonov<sup>1</sup>,  
Najibullo Rabizoda<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Higher school of technology and energy Saint-Petersburg state University industrial technology and design, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint-Petersburg, Russia

<sup>3</sup> International University of Tourism and Entrepreneurship of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan

*Summary.* The article describes the “TM — the Vakhsh River” territorial monitoring GIS-project, which provides information on water objects of the river basin, main sources of technogenic impact, qualitative and quantitative indicators of water composition on control stations. The project “TM — the Vakhsh River” includes three parts: geoinformation topographic base with geographical binding of layers to a single coordination system; geodatabase, which is a storage of information about the analyzed objects; a set of problem-oriented applications for obtaining assessments. A linear scheme of the basin is provided, indicating industrial and agricultural impact sources. Water quality was assessed using the Specific Combinatorial Water Pollution Index (SCWPI) for 2014—2018, water quality in the Vakhsh River in 2014 and 2015 referring to classes 2 and 3 (slightly polluted and polluted), and the one in 2016, 2017 and 2018 referring to class 1 (conditionally clean). Information on water users was analyzed, and the main industrial and agricultural enterprises contributing mainly to water pollution were identified, as well as sites with different levels of water pollution and representative indicators of water quality. The results of basin zoning have resulted in the identification of 3 water management zones, taking into account population, industrial and agricultural enterprises, irrigated areas and climatic characteristics of the terrain. This zoning correlates with the water sector reform program of the Tajikistan Republic for 2016—2025, which in the future will allow the implementation of integrated water resources management (IWRM) and uniform, efficient allocation of quotas for water withdrawal and wastewater discharge in the Vakhsh River basin, which is consistent with the concept of reducing the ecological water footprint of industrial and agricultural enterprises.

*Keywords:* Vakhsh river, technogenic load, geodatabase, geographic information system, water-resources region, water pollution index.

*Acknowledgments.* The authors are thankful to the Ministry of Energy and Water Resources of the Republic of Tajikistan and the Agency of Hydrometeorology of the Committee for Environmental Protection under the Government of the Republic of Tajikistan for providing the data for this research.

*For citation:* Kuvatov I.A., Shishkin I.A., Antonov I.V., Rabizoda N. Territorial monitoring structure and database for the assessment of technogenic load in the Vakhsh River basin (Republic of Tajikistan). *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2022; (67): 267—282. [In Russian]. doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-267-282.

### **Введение**

Водные ресурсы распределены по земной поверхности неравномерно, и значительная доля человечества проживает в районах с дефицитом пресной воды. Проблема водообеспеченности заключается не только в наличии или отсутствии источников водоснабжения, но и в качестве этого ресурса. Истощение запасов

воды стоит в одном ряду с проблемой воздействия хозяйственной деятельности человека на атмосферный воздух, называемой «углеродным следом» [1, 2].

По территории Республики Таджикистан протекает большое количество рек, множество из которых берет свое начало в горной местности, что, с одной стороны, положительно сказывается на качестве воды (чистая вода из ледников), а с другой — в связи с бурным течением происходят эрозионные процессы. Это приводит к насыщению воды взвешенными веществами и солями, содержащимися в грунте. Кроме этого, по мере развития промышленности, усиливается техногенное воздействие на водные объекты, что проявляется в виде истощения данного ресурса и в загрязнении его сточными водами.

Река Вахш протекает по густонаселенным территориям с развитой промышленностью и сельским хозяйством, деятельность которых сопряжена с вовлечением в хозяйственный оборот больших объемов воды, и не всегда это использование является рациональным.

Для оценки рационального использования водных ресурсов, в настоящее время, часто используется концепция водного экологического следа (water footprint) [3, 4]. Понятие водного экологического следа показывает количество воды, которое используется прямо или косвенно при производстве товаров и услуг [3] и в зависимости от этого складывается из трех видов водного следа [5]:

— голубой — объем воды, изымаемый из поверхностных и подземных источников;

— зеленый — объем воды, поступающий на земную поверхность в виде осадков;

— серый — объем воды, требуемый для разбавления поступающих сточных вод от предприятий и другой хозяйственной деятельности человека.

В связи с этим, основная цель работы состоит в разработке структуры ГИС-проекта территориального мониторинга (ТМ) р. Вахш, с помощью которого будет возможно проводить районирование территории речного бассейна, оценить качество воды по интегральным индексам, определить репрезентативные показатели качества воды в рамках нормирования техногенного воздействия на водные объекты бассейна р. Вахш. В итоге, будут установлены нормативы допустимого изъятия водных ресурсов (ГОСТ Р ИСО 14046-2017) и сброса сточных вод с учетом специфики водного объекта, что приведет к снижению водного экологического следа промышленных и сельскохозяйственных предприятий в данном регионе [2, 5, 6].

### Исходные данные

Река Вахш, являясь одной из крупнейших рек Таджикистана, протекает через его центральные районы в направлении с северо-востока на юго-запад и имеет протяженность 524 км. Бассейн р. Вахш расположен между 37,10° и 39,74° с.ш. и 68,31° и 73,70° в.д., общая площадь водосбора составляет более 39 000 км<sup>2</sup>. В бассейне расположены крупные промышленные предприятия (ОАО «Таджикхимпром», Таджикско-Китайское СП «Нурии Осие» бывший «ТаджикАзот», ООО «Талко Кемикал», ООО «Хима-текстил», ОАО «Ресанда», ООО «Ресандаи Хатлон» и т.д.), а также городские агломерации (Бохтар, Левакант, Нурек), которые

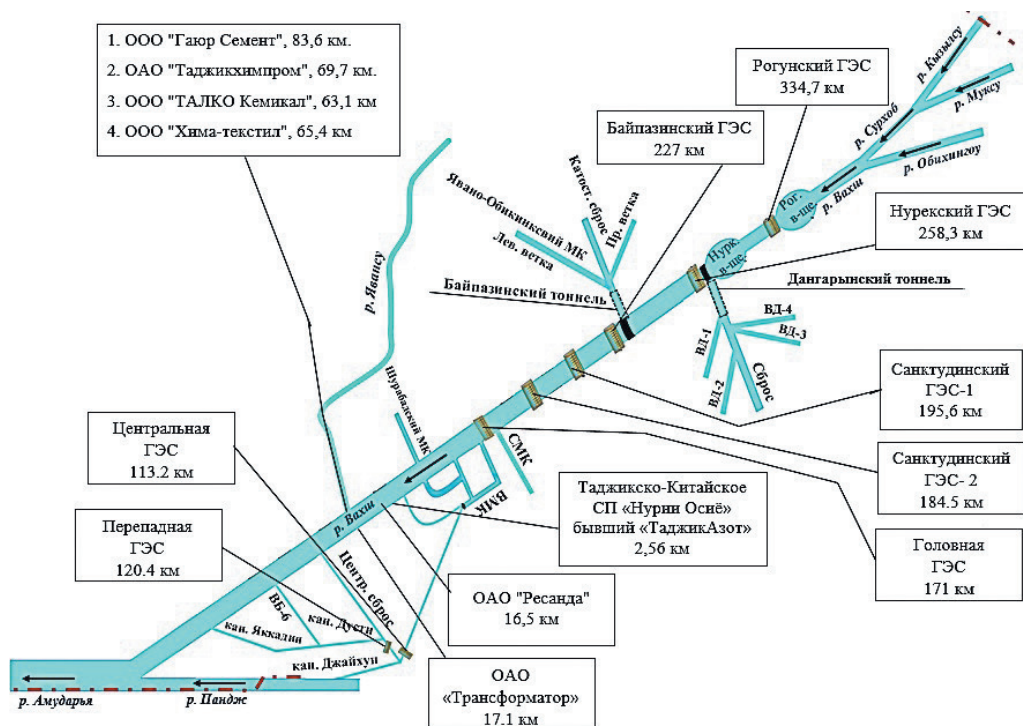


Рис. 1. Линейная схема р. Вахш.

Fig. 1. Linear scheme of the Vakhsh river.

осуществляют забор (изъятие) водных ресурсов, а также отведение своих сточных вод в реки бассейна. Основные притоки и источники техногенного воздействия указаны на линейной схеме бассейна реки Вахш (рис. 1).

Объем забора (изъятия) воды в годовом исчислении на нужды различных отраслей промышленности (химическая, нефтедобывающая, нефтеперерабатывающая, машиностроение и металлообработка, цветная металлургия, горнорудная промышленность, угольная, легкая промышленность, пищевая промышленность, промышленность стройматериалов) из всех источников в пределах речных бассейнов Республики Таджикистан составляет: по Сырдарье 46,4 млн м<sup>3</sup> (42,0 %), по Кафирнигану 26,2 млн м<sup>3</sup> (23,7 %), по Вахшу 12,1 млн м<sup>3</sup> (10,9 %), в том числе на легкую промышленность приходится 3,23 %, а на промышленность стройматериалов 7,75 %, по Зеравшану 14,7 млн м<sup>3</sup> (13,3 %), по Пянджу 6,8 млн м<sup>3</sup> (6,14 %) в том числе по Хатлонскому региону 6,17 млн м<sup>3</sup>, по ГБАО (Горно-Бадахшанская автономная область) 620 тыс. м<sup>3</sup> [7—9].

Объемы сточных вод, которые отводятся от основных предприятий в поверхностные водные объекты бассейнов рек Республики Таджикистан, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Объемы водоотведения в поверхностные водные объекты по речным бассейнам  
Республики Таджикистан

Volumes of water disposal to surface water bodies by river basins of the Republic of Tajikistan

Речной бассейн	Отведено в водные объекты		Безвозвратное потребление		Загрязненные стоки	
	тыс. м <sup>3</sup>	% (от общего расхода)	тыс. м <sup>3</sup>	%	тыс. м <sup>3</sup>	%
Сырдарья	10916,5	23,5	1604,7	3,5	840,5	1,8
Зеравшан	3963,6	27,0	582,6	4,0	305,1	2,1
Кафирниган	8218,5	31,4	1208,1	4,6	632,0	2,4
Вахш	3040,6	25,1	447,0	3,7	234,1	2,0
Пяндж, в т.ч.:	1831,4	27,0		4,0		2,1
– регион Хатлон	1664,0	24,5	244,6	3,6	128,1	1,9
– регион ГБАО	167,4	2,5	24,6	0,4	12,8	0,2

### Методика и результаты

Как видно из линейной схемы (рис. 1) и табл. 1, на водные объекты бассейна р. Вахш оказывается серьезное воздействие сточными водами предприятий. Помимо этого, намечается тенденция к увеличению численности населения, а также развитию существующих предприятий и вводу новых мощностей, что может привести к ухудшению качества воды в водных объектах бассейна. При этом, развитие промышленности не всегда сопряжено с модернизацией систем очистки, восстановлением и планированием новых водоотводящих мелиоративных систем.

Для нормализации ситуации с качеством воды в бассейне р. Вахш одним из первоначальных этапов является создание базы геоданных водных объектов с указанием постов гидрохимического и гидрологического контроля, предприятий-водопользователей.

Разработка ГИС-проекта территориального мониторинга «ТМ — р. Вахш» с использованием программного продукта ArcGIS Desktop позволяет решать следующие задачи [10—14]:

- накопление, систематизацию и классификацию всех источников негативного воздействия на бассейн реки;
- прогнозирование изменений во времени исследуемых параметров и показателей;
- статистическое и математическое моделирование процессов переноса и превращения веществ на основе моделей конвективно-диффузионного переноса и превращения веществ (КДП и ПВ) [15, 16].

Важнейшими элементами системы оценки на базе ГИС являются проблемно-ориентированные приложения, основная задача которых — проведение специализированного анализа данных для получения оценки состояния природных объектов и визуализации результатов.

Для решения задач оценки техногенной нагрузки на водные объекты бассейна р. Вахш разработанный проект «ТМ — р. Вахш» включает три блока:

1. Геоинформационную топооснову с географической привязкой слоев к единой системе координат (использованы топографические карты (масштаб 1:100000 и 1:200000) и спутниковые снимки Landsat 2 MSS (L2MMS), Landsat 5 TM (L5TM) и Landsat 8 OLI (L8OLI). 2019—2020 гг.) [17—19].

2. Базу геоданных, являющуюся хранилищем информации об анализируемых объектах, имеющую единую структуру и систему кодовых полей, позволяющую географически корректно привязать данные к тому или иному пространственному объекту [14, 20].

3. Набор проблемно-ориентированных приложений для получения оценок по ранее разработанным алгоритмам, и осуществляющих построение тематических карт, и визуализации результатов в пространственном виде.

Общий вид проекта «ТМ — р. Вахш» приведен на рис. 2 [13, 14, 18, 21—23].

В соответствии с поставленными целями и задачами база геоданных, как показано на рис. 2, включает шесть типов пространственных объектов:

- 1) территорию (административные границы республики, использованы шейп-файлы из открытых источников) [24];
- 2) районы (границы административных районов и сельских общин (джамоатов), использованы шейп-файлы из открытых источников) [24];
- 3) р. Вахш, полигональный слой реки;
- 4) ГЭС (включает местоположение гидроэлектростанции);
- 5) гидрост (включает местоположение гидростов);
- 6) посты гидрохимического контроля (включает местоположение постов (створы) наблюдения за качеством воды).

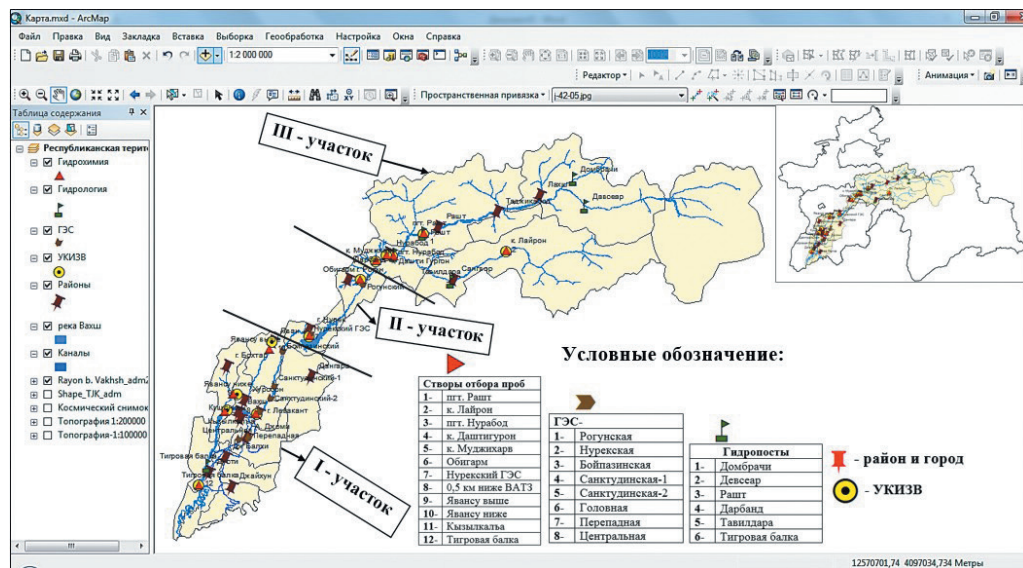


Рис. 2. Общий вид ГИС проекта «ТМ — р. Вахш».

Fig. 2. General view of the GIS project “Territorial Monitoring — Vakhsh River”.



Удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ) является официальным показателем для характеристики качества воды в системе Таджики-гидромета и учитывает как кратность превышения нормативов, так и повторяемость этих случаев. Расчет осуществляется по документу РД 52.24.643-2002.

Наполнение базы геоданных информацией осуществлялось по материалам наблюдений Агентства по гидрометеорологии Комитета охраны окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан, Министерства энергетики и водных ресурсов Республики Таджикистан, ГУ «Таджик НИИГиМ» за пятилетний период, которые были скомпонованы в единую структуру геоинформационной системы бассейна р. Вахш.

В результате обработки информации в базе геоданных вначале было выделено три водохозяйственных участка (рис. 3) с учетом сведений по количеству населения, промышленным и сельскохозяйственным предприятиям, площадям орошения и климатическим характеристикам местности.

Нагрузка от производственно-коммунальных и сельскохозяйственных предприятий на речную сеть бассейна р. Вахш, как показали исследования, отличается значительной неравномерностью в верхнем, среднем и нижнем течении, что

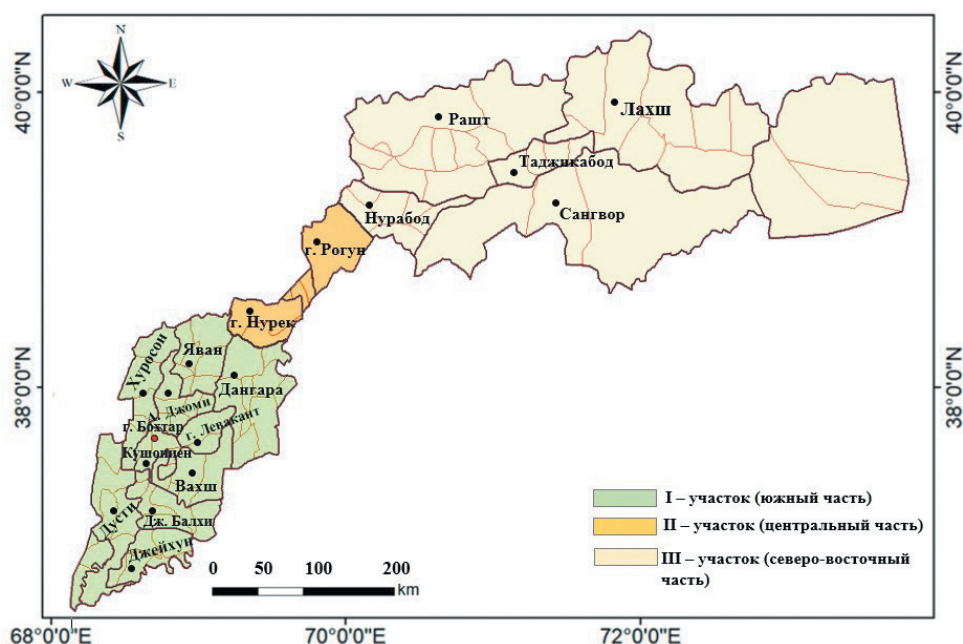


Рис. 3. Карта схема водосборного бассейна р. Вахш:

черные линии — административно-территориальные границы районов и городов;  
красные (светлые) линии — территориальные границы сельских общин (джамоатов).

Fig. 3. Schematic map of the river Vakhsh catchment:

black lines — administrative and territorial boundaries of districts and cities;  
red (light) lines — territorial boundaries of rural communities (jamoats).

предопределило необходимость интегрированного районирования по гидро- и морфологическим, а также гидрохимическим и гидробиологическим показателям.

Общие объемы водопотребления и водоотведения по различным видам хозяйственной деятельности для выделенных участков бассейна составляют:

— промышленные предприятия — 80,4 % (I участок), 14,3 % (II участок), 5,3 % (III участок);

— сельхозпредприятия — 74,1 % (I участок), 3 % (II участок), 22,9 % (III участок);

— орошаемая площадь — 87,2 % (I участок), 0,6 % (II участок), 12,2 % (III участок);

— население — 62,4 % (I участок), 3,8 % (II участок), 33,8 % (III участок).

При анализе предприятий в бассейне р. Вахш можно выделить три основные группы водопользователей: промышленные, объекты жилищно-коммунального хозяйства, сельскохозяйственные.

В табл. 2 приведены результаты обработки и систематизации водопользователей бассейна р. Вахш с учетом водохозяйственного районирования по данным источников [7, 9, 25, 26].

Таблица 2

Распределение водопользователей по административным районам бассейна р. Вахш с учетом водохозяйственного районирования

Distribution of water users by administrative districts of the Vakhsh River basin, taking into account water management zoning

Название района / город		Население*			Промышленные предприятия, шт.	Сельхоз предприятия, шт.	Орошаемая площадь, га
		1	2	3			
I участок	Джайхун	139,0	139,0	1,0	1	86	24972
	Дусти	117,1	97,5	1,2	3	47	19858
	Дж. Балхи	201,3	223,7	0,9	4	92	22970
	А. Джоми	175,8	293,0	0,6	1	54	2390
	Вахш	199,3	199,3	1,0	1	97	21506
	Кушониен	245,9	409,6	0,6	4	147	25795
	г. Бохтар	111,8	—	—	10	16	—
	Хуросон	116,5	129,4	0,9	1	47	10877
	Яван	234,6	260,7	0,9	10	158	27025
	г. Левакант	48,3	483,0	0,1	3	13	—
	Дангара	161,0	80,5	2,0	7	33	7550
	<b>Всего</b>	<b>1750,6</b>	<b>2315,7</b>	<b>9,2</b>	<b>45</b>	<b>790</b>	<b>162943</b>
II участок	г. Нурек	61,5	153,5	0,4	6	12	567
	г. Рогун	44,1	88,2	0,5	2	20	—
	<b>Всего</b>	<b>105,6</b>	<b>241,7</b>	<b>0,9</b>	<b>8</b>	<b>32</b>	<b>567</b>
III участок	Нурабод	82,1	91,2	0,9	—	59	2542
	Сангвор	23,3	3,9	6,0	—	13	1195
	Рашт	127,4	27,7	4,6	3	87	6387
	Таджикабад	46,0	65,7	0,7	—	46	3235

Окончание табл. 2

Название района / город	Население*			Промышленные предприятия, шт.	Сельхоз предприятия, шт.	Орошаемая площадь, га
	1	2	3			
Лахш	66,4	14,4	4,6	–	39	7844
<b>Всего</b>	<b>345,2</b>	<b>202,9</b>	<b>16,8</b>	<b>3</b>	<b>244</b>	<b>21203</b>
<b>Всего</b>	<b>2201,4</b>	<b>2760,3</b>	<b>26,9</b>	<b>56</b>	<b>1066</b>	<b>184713</b>

\*1 столбец — население, тыс. чел., 2 — численность населения на км<sup>2</sup>, 3 — территория, тыс. км<sup>2</sup>.

Структура «ТМ — р. Вахш» реализована в виде набора пространственных объектов, отражающих основные характеристики техногенной нагрузки на бассейн р. Вахш.

Комплексная оценка существующей техногенной нагрузки по 12 действующим створам позволила оценить качество воды по 14 показателям и выявить влияние на них сельскохозяйственных предприятий и промышленных производств. Выявлено значительное превышение значений ПДК по содержанию алюминия, сульфатов, водородного показателя (*pH*) и минерализации. Результаты оценки с указанием класса качества воды по УКИЗВ за пятилетний период приведены на рис. 4 и в табл. 3 [27—29].

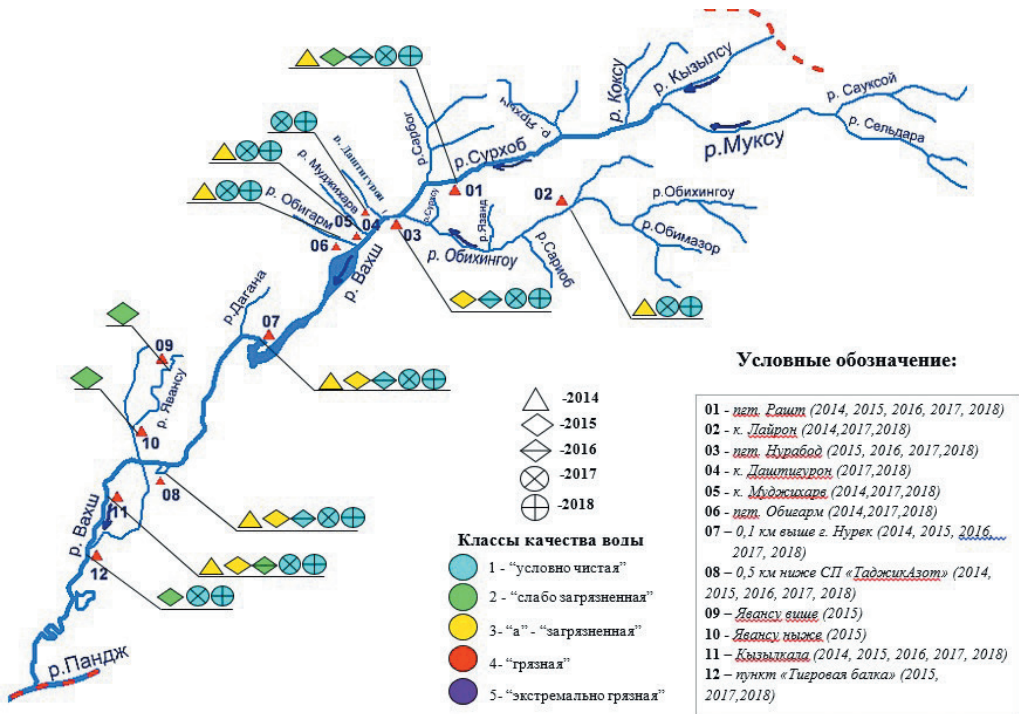


Рис. 4. Схема качества воды бассейна р. Вахш по данным 2014—2018 гг.

Fig. 4. Quality scheme of the Vakhsh river basin according to 2014—2018 data.

Таблица 3.

Изменение качества воды в бассейне р. Вахш по данным 2014—2018 г.  
Changes in water quality in the Vakhsh river basin according to 2014—2018 data

Водный объект	Пункт наблюдений	Основные загрязняющие вещества	УКИЗВ и класс качества воды				
			2014	2015	2016	2017	2018
р. Сурхоб	пгт. Рашт	2014 г. — азот аммонийный, азот нитритов, азот нитратов, железо, сульфаты, хлориды, кальций, магний, калий, алюминий, хром (Cr <sup>4+</sup> ), фтор, медь, марганец, фосфор фосфатов	2,260, 3-й класс	1,780, 2-й класс	0,410, 1-й класс	0,320, 1-й класс	0,426, 1-й класс
р. Оби-хингоу	к. Лайрон		2,540, 3-й класс	—	—	0,330, 1-й класс	0,385, 1-й класс
р. Вахш	пгт. Нурабод		—	2,210, 3-й класс	0,499, 1-й класс	0,390, 1-й класс	0,400, 1-й класс
р. Даштигурон	к. Даштигурон	2015 г. — азот аммонийный, азот нитритов, железо, сульфаты, хлориды, кальций, магний, калий, алюминий, хром (Cr <sup>4+</sup> ), фтор, медь, марганец, фосфор фосфатов	—	—	—	0, 1-й класс	0,309, 1-й класс
р. Муджихарв	к. Муджихарв		2,090, 3-й класс	—	—	0, 1-й класс	0, 1-й класс
р. Обигарм	Обигарм		2,19	—	—	0, 1-й класс	0, 1-й класс
р. Вахш	Нурекский ГЭС	2016 г. — азот аммонийный, азот нитритов, азот нитратов, железо, сульфаты, кальций, магний, калий, натрий	2,280, 3-й класс	1,980, 3-й класс	0,960, 1-й класс	0,464, 1-й класс	0,412, 1-й класс
р. Вахш	0,5 км ниже ВАТЗ		2,280, 3-й класс	2,510, 3-й класс	0,560, 1-й класс	0,461, 1-й класс	0,409, 1-й класс
р. Явансу	Явансу выше	2017 г. — азот аммонийный, азот нитритов, азот нитратов, железо, сульфаты, хлориды, кальций, магний, калий, алюминий, натрий	—	1,610, 2-й класс	—	—	—
р. Явансу	Явансу ниже		—	1,490, 2-й класс	—	—	—
р. Вахш	Кизыл-кала	2018 г. — азот аммонийный, азот нитритов, азот нитратов, железо, сульфаты, хлориды, кальций, магний, калий, алюминий, хром (Cr <sup>6+</sup> ) натрий	2,278, 3-й класс	2,610, 3-й класс	1,050, 2-й класс	0,380, 1-й класс	0,390, 1-й класс
р. Вахш	Тигровая балка		—	1,076, 2-й класс	—	0, 1-й класс	0,403, 1-й класс

Общий вид структуры базы данных приведен на рис. 5.

База данных результатов наблюдений и оценки качества воды реализована на реляционном принципе (рис. 5) и включает пять типов объектов по аналогии со структурой топоосновы:

— Гидрологические данные (расход воды по гидростам);

— Гидрохимические данные по 12 створам, в каждом по 31 гидрохимическому показателю (температура, запах, цветность, мутность, соленость, рН, минерализация, УЭП, аммоний, нитриты, нитраты, железо общее, фосфор, фосфаты, оксид фосфора, алюминий, хлориды, марганец, калий, кремний, сернистая кислота, гидрокарбонаты, сульфаты, кальций, магний, натрий, медь, хром (четырёхвалентный), хром (шестивалентный), фтор, диоксид кремния);

— УКИЗВ, который рассчитан для каждого года за период с 2014 по 2018 гг. При этом в расчетах использовались показатели качества: нитриты, нитраты, аммоний, железо, сульфаты, хлориды, кальций, магний, калий, алюминий, хром (четырёхвалентный), фтор, медь, марганец, фосфор;

— ГЭС (месторасположение восьми гидроэлектростанций и зафиксированный расход вод — створный, турбинный, холостой, объем холостой воды);

— Районы. Включает 15 районов: Лахш, Таджикабад, Рашт, Нурабад, Сангвор, г. Рогун, г. Нурек, Дангара, Хуросон, г. Левакант, Яван, г. Бохтар, Кушониен, Вахш, А. Джоми, Дж. Балхи, Дусти, Джайхун. Районирование произведено по: количеству населения, площади территории, плану водоснабжения, промышленным и сельхозпредприятиям, площадям орошения [7, 29].

Как видно на рис. 5, таблицы базы данных соединены между собой, в зависимости от взаимоотношения каждого из типов объектов. Имеются связи «один ко многим», что означает, для одного объекта данного типа имеется множество объектов из другого типа (например, в одном пункте контроля определение качества воды производится по различным показателям во времени).

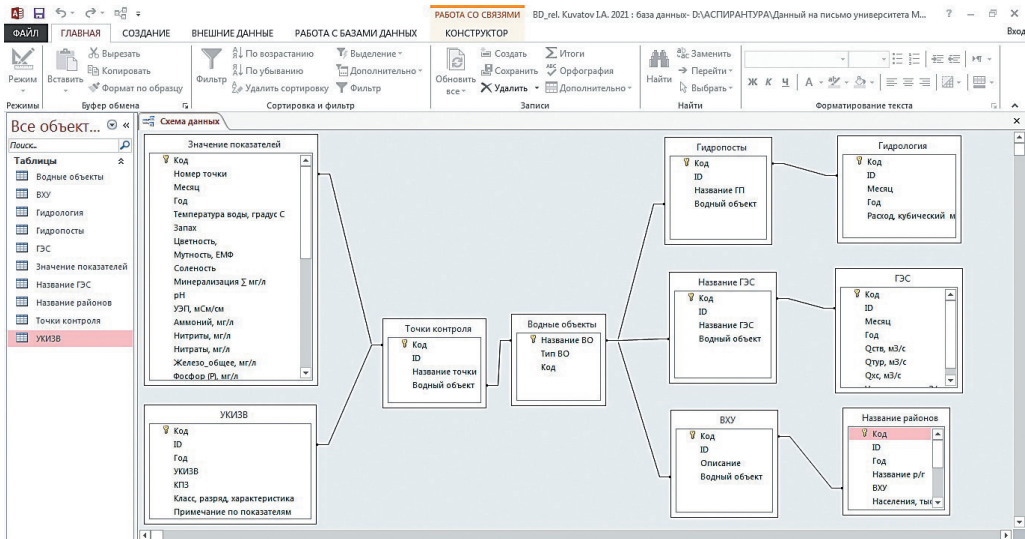


Рис.5. Схема реляционной базы данных бассейна реки Вахш.

Fig. 5. Schematic of the Vakhsh river basin relational database.

### Заключение

На основе выполненных исследований по обобщению, ранжированию и классификации характеристик водопользования и распределения сбрасываемых сточных вод создан проект территориального мониторинга бассейна р. Вахш «ТМ — р. Вахш», содержащий пять слоев (гидрология, гидрохимия, расход воды по ГЭС, водохозяйственные районы по участкам и результаты расчета УКИЗВ).

Наполнение разработанной структуры базы данных осуществлено на основе систематических наблюдений по гидростатам и отдельным створам.

В рамках задачи оценки качества воды было обобщено в базе данных 11630 значений концентраций гидрохимических показателей, что позволило выявить репрезентативные показатели качества воды в бассейне р. Вахш. К ним были отнесены: сульфаты, натрий, калий, кальций, магний. Помимо выбора репрезентативных показателей, на основе этих наборов данных рассчитан УКИЗВ (табл. 3) за 2014—2018 гг. Показано, что качество воды в р. Вахш в 2014 и 2015 гг. относится к 2-му и 3-му классам (слабо загрязненная и загрязненная), а 2016, 2017 и 2018 гг. относится к 1-му классу (условно чистая).

Выявлено значительное превышение нормативов качества воды (ПДК) для показателей: алюминий, сульфаты, *pH* и минерализация.

По результатам районирования бассейна выделено три водохозяйственных участка (рис. 3) с учетом сведений по количеству населения, промышленным и сельскохозяйственным предприятиям, площадям орошения и климатическим характеристикам местности. Данное районирование коррелируется с программой реформы водного сектора Республики Таджикистан на 2016—2025 гг., которая в дальнейшем позволит реализовать интегрированное управление водными ресурсами (ИУВР) и равномерно, эффективно распределять квоты на забор воды и сброс сточных вод в бассейне р. Вахш, что укладывается в концепцию снижения экологического водного следа промышленных и сельскохозяйственных предприятий.

### Список источников

1. Рыбников О.В., Бондаренко Н.П., Мандре Ю.Г., Аким Э.Л. Поэтапная эколого-технологическая реконструкция интегрированного целлюлозно бумажного комбината ЗАО IP («ОАО Светогорск») // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2013. № 5. С. 62—68.
2. Aqueduct global maps 2.0. Aqueduct metadata document: [Электронный ресурс] // Francis Gassert et al. Washington, WRI, Working Paper 19, 2013. 20 p. URL: <https://docplayer.net/8582082-Executive-summary-contents-aqueduct-metadata-document-aqueduct-global-maps-2-1-working-paper.html> (дата обращения 02.04.2022).
3. Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., Aldaya M.M., Mekonnen M.M. The Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard. L.; Wash., DC: Water Footprint Network, 2011. 228 p.
4. Mekonnen, M.M., Hoekstra A.Y. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products // Hydrology and Earth System Sciences. 2011. Vol. 15, № 5. P. 1577—1600 doi: 10.5194/hess-15-1577-2011.
5. ISO (2011) ISO 14051:2011. Environmental Management — Material Flow Cost Accounting — General Framework. ISO, Geneva: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/50986.html> (дата обращения: 02.04.2022).
6. Гулахмадов А.А. Анализ климатических переменных в верховьях бассейна реки Амударья в Таджикистане. // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. Брянск. 2022. № 1. С. 76—85. doi: 10.22281/2413-9920-2022-08-01-76-85.

7. *Шишкин А.И., Куватов И.А., Барххуев Х.О.* Районирование бассейна р. Вахш по интегральной нагрузке основных промышленных и сельскохозяйственных производств. Сборник материалов XXIV Международного Биос-форума и Молодежной Биос-олимпиады. Книга 1. СПб.: Любавич, 2019. С. 356—366.
8. *Шишкин А.И., Куватов И.А.* Применение системного анализа для комплексной оценки техногенной нагрузки в трансграничном бассейне реки Вахш (Республики Таджикистан) // Сборник материалов XXIII Международного Биос-форума и Молодежной Биос-олимпиады. Книга 2. СПб.: Любавич, 2019. С. 122—133.
9. Статистический отчет о результатах одновременного выборочного обследования по водопользователям в сельском хозяйстве, добывающей и обрабатывающей промышленности в Республике Таджикистан 2016 года: [Электронный ресурс]. URL: [http://stat.www.tj/4b41344a386e7999608e75e7a5710373\\_1515477607.pdf/](http://stat.www.tj/4b41344a386e7999608e75e7a5710373_1515477607.pdf/) (дата обращения: 6.06.2021).
10. *Цветков В.Я.* Геоинформационные системы и технологии. М.: Финансы и статистика, 1998. 287 с.
11. *Наврзув С.Т.* О создании геоинформационной системы управления водными ресурсами трансграничных рек // Сборник научных трудов ЭИТ. Выпуск 10, часть 1. Душанбе. 2008. С. 124—134.
12. *Шамова В.В.* ГИС водоемов и воднотранспортных объектов. Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2013. 409 с.
13. *Наврзув С.Т.* Геоинформационная система управления водными ресурсами речного бассейна // Материалы научной конференции «Вопросы ресурсного обеспечения информационно-коммуникационных технологий в образовании», посвященной 10-летию РТСУ. Душанбе: РТСУ, 2006. С. 65—68.
14. *Куракина Н.И.* Геоинформационные системы в экологии. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015. 160 с.
15. *Шишкин А.И., Горбунов Н.Е., Елифанов А.В.* Управление качеством окружающей среды с применением геоинформационных систем. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. 292 с.
16. *Дружинин Н.И., Шишкин А.И.* Математическое моделирование и прогнозирование загрязнения поверхностных вод суши. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 329 с.
17. *Аминов Дж.Х., Фазылов А.Р., Кобулиев З.В., Аминов Дж., Сафаров М.С.* Мониторинг заиления водохранилищ с использованием методов дистанционного зондирования // Сборник материалов Международной научно-практической онлайн конференции (Душанбе, Таджикистан). Комплексное использование водно-энергетических ресурсов Центральной Азии в условиях глобального изменения климата. Душанбе: Фархунда М, 2020. С. 57—68.
18. *Gulakhmadov A., Chen Xi, Gulakhmadov M., Kobuliev Z., Gulahmadov N., Peng J., Li Z., Liu T.* Evaluation of the CRU TS3.1, APHRODITE\_V1101, and CFSR Datasets in Assessing Water Balance Components in the Upper Vakhsh River Basin in Central Asia // Atmosphere. 2021. 12(10). 1334. doi: 10.3390/atmos12101334.
19. *Gulakhmadov A., Chen X., Gulahmadov N., Liu T., Anjum M.N., Rizwan M.* Simulation of the Potential Impacts of Projected Climate Change on Streamflow in the Vakhsh River Basin in Central Asia under CMIP5 RCP Scenarios // Water 2020. 12(5). 1426. doi: 10.3390/w12051426.
20. *Хомопепко А.Д., Цыганков В.М., Мальцев М.Г.* Базы данных. СПб.: КОРОНА-Век, 2009. 736 с.
21. *Наврзув С.Т.* Моделирование в управлении водными ресурсами. Душанбе: ЭР-граф, 2013. 280 с.
22. *Алексеев В.В., Шишкин И.А.* Геоинформационная система оценки состояния технических сооружений защиты территории от подтопления // Вестник ТОГУ. 2012. № 4(27). С. 69—78.
23. *Антонов И.В., Шишкин А.И., Чусов А.Н.* Методология нормирования антропогенного воздействия на основе геоинформационной моделирующей системы // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 3(18). С. 25—37.
24. GIS program «DIVA-GIS»: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.diva-gis.org/datadown> (дата обращения: 30.06.2021).
25. Статистический отчет о численности населения Республики Таджикистан 2014—2019 гг. Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан: [Электронный ресурс]. URL: [http://oldstat.www.tj/ru/img/b417f44e3113e555ffff3cd143d5b3fe\\_1404816557.pdf/](http://oldstat.www.tj/ru/img/b417f44e3113e555ffff3cd143d5b3fe_1404816557.pdf/) (дата обращения: 16.06.2021).
26. Авторское свидетельство РФ № 2021623223, 27.12.2021. Реляционная база гидрологических и гидрохимических данных по водным объектам с учетом водохозяйственного районирования

- бассейна реки Вахш Республики Таджикистан по сезонам за период 2014—2018 гг. для идентификации параметров качества вод / Куватов И.А., Шишкин И.А., Рабизода Н., Антонов И.В., Кушнеров А.И. // Авторское право России. № 2021623041. 13.12.2021. Бюл. № 1.
27. *Абдушукуров Дж.А., Салибаева З.Н.* Гидрогеохимические параметры качества воды в реках Таджикистана. ФРГ: Изд-во Ламберт, 2014. 130 с.
  28. Авторское свидетельство РФ № 2020622624, 14.12.2020. Реляционная база гидрохимических данных водных объектов бассейна реки Вахш Республики Таджикистан по сезонам за период 2014—2018 гг. для идентификации параметров качества вод / Куватов И.А., Шишкин И.А., Кушнеров А.И., Рабизода Н. // Авторское право России № 2020622200. 10.11.2020. Бюл. № 12.
  29. *Алексеев В.В., Шишкин И.А.* Районирование территорий на базе ГИС с целью оценки степени риска от подтопления // МНТК «Научное и инновационные технологии в решении проблем прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций и их последствий». СПб.: ООО «ПИФ.СОМ», 2011. С. 39—47.

### References

1. *Rybnikov O.V., Bondarenko N.P., Mandre Yu.G., Akim E.L.* Stage-by-stage ecological and technological reconstruction of the integrated pulp and paper mill of CJSC IP (“OJSC Svetogorsk”). *Tsellyuloza. Bumaga. Karton. Cellulose. Paper. Paperboard.* 2013, 5: 62—68. [In Russian].
2. Aqueduct global maps 2.0. Aqueduct metadata document. Francis Gassert et al. Washington, WRI, Working Paper 19, 2013, 20. Available at: <https://docplayer.net/8582082-Executive-summary-contents-aqueduct-metadata-document-aqueduct-global-maps-2-1-working-paper.html> (accessed 02.04.2022).
3. *Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., Aldaya M.M., Mekonnen M.M.* The Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard. L.: Wash., DC: Water Footprint Network, 2011: 228 p.
4. *Mekonnen, M.M., Hoekstra A.Y.* The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2011, 15, 5: 1577—1600. doi: 10.5194/hess-15-1577-2011.
5. ISO (2011) ISO 14051:2011. Environmental Management — Material Flow Cost Accounting — General Framework. ISO, Geneva. Available at: <https://www.iso.org/standard/50986.html> (accessed 02.04.2022).
6. *Gulakhmadov A.A.* Analysis of climate variables in the upper Amu Darya River Basin in Tajikistan. *Nauchno-Tekhnicheskij Vestnik Bryanskogo Gosudarstvennogo Universiteta*. Scientific and Technical Journal of Bryansk State University. 2022, 1: 76—85. doi: 10.22281/2413-9920-2022-08-01-76-85. [In Russian].
7. *Shishkin A.I., Kuvatov I.A., Barkhkhuev H.O.* Zoning of the Vakhsh River basin according to the integral load of the main industrial and agricultural industries. *Sbornik materialov XXIII Mezhdunarodnogo Bios-foruma i Molodezhnoi Bios-olimpiady. Kniga 2*. Collection of materials of the XXIV International Bios Forum and the Youth Bios Olympiad. Book 1. St. Petersburg: Lyubavich, 2019: 356—366. [In Russian].
8. *Shishkin A.I., Kuvatov I.A.* Application of system analysis for a comprehensive assessment of technogenic load in the transboundary basin of the Vakhsh River (Republic of Tajikistan). *Sbornik materialov XXIII Mezhdunarodnogo Bios-foruma i Molodezhnoi Bios-olimpiady. Kniga 2*. Collection of materials of the XXIII International Bios Forum and the Youth Bios Olympiad. Book 2. SPbSCRAS, VVM. SPb: Lyubavich, 2019: 122—133. [In Russian].
9. *Statisticheskij otchet o rezul'tatakh yedinovremennogo vyborochnogo obsledovaniya po vodopol'zovatelyam v sel'skom khozyaystve, dobyvayushchey i obrabatyvayushchey promyshlennosti v Respublike Tadjikistan 2016 goda*. Statistical report on the results of a one-time sample survey on water users in agriculture, extractive and manufacturing industries in the Republic of Tajikistan 2016. Available at: <http://stat.wv.tj> (accessed 06.06.2021). [In Tajikistan].
10. *Tsvetkov V.Y.* *Geoinformacionnye sistemy i tekhnologii*. Geoinformation systems and technologies. Moscow: Finance and statistics, 1998: 287 p. [In Russian].
11. *Navruzov S.T.* On the creation of a geoinformation system for managing water resources of transboundary rivers. *Sbornik nauchnykh trudov EIT. Vypusk 10, chast' 1*. Collection of scientific papers Energy Institute of Tajikistan (EIT). Dushanbe, 2008, 10(1): 124—134. [In Tajikistan].



12. *Shamova V.V. GIS vodoemov i vodnotransportnykh ob'ektov: uchebnoe posobie*. GIS of reservoirs and water transport objects: a textbook. Novosibirsk: Novosibirsk State Academy of Waters. transp., 2013: 409 p. [In Russian].
13. *Navruzov S.T. Geoinformation system of water resources management of the river basin. Materialy nauchnoi konferentsii «Voprosy resursnogo obespecheniia informatsionno-kommunikatsionnykh tekhnologii v obrazovanii», posviashchennoi 10-letiiu RTSU*. Materials of the scientific conference «Issues of resource provision of information and communication technologies in education» dedicated to the 10th anniversary of the Russian-Tajik (Slavic) University. RTSU. Dushanbe, 2006: 65—68. [In Tajikistan].
14. *Kurakina N.I. Geoinformacionnye sistemy v ekologii*. Geoinformation systems in ecology. St. Petersburg: Publishing house of SPbGETU «LETI», 2015: 160 p. [In Russian].
15. *Shishkin A.I., Gorbunov N.E., Epifanov A.V. Upravlenie kachestvom okruzhayushchej sredy s primeneniem geoinformacionnykh sistem: ucheb. posobie*. Environmental quality management with the use of geoinformation systems: textbook. manual. St. Petersburg: Publishing House of Polytechnic University, 2011: 292 p. [In Russian].
16. *Druzhinin N.I., Shishkin A.I. Matematicheskoe modelirovanie i prognozirovaniye zagryazneniya poverhnostnykh vod sushi*. Mathematical modeling and forecasting of land surface water pollution. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1989: 329 p. [In Russian].
17. *Aminov J.Kh., Fazylov A.R., Kobuliev Z.V., Aminov J., Safarov M.S. Monitoring of reservoir silting using remote sensing methods. Sbornik materialov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi onlain konferentsii (Dushanbe, Tadjikistan). Kompleksnoe ispol'zovanie vodno-energeticheskikh resursov Tsentral'noi Azii v usloviyakh global'nogo izmeneniia klimata*. Collection of materials of the International Scientific and Practical Online Conference (Dushanbe, Tajikistan) Integrated use of water and energy resources of Central Asia in the context of global climate change. Dushanbe: Farkhunda, 2020: 57—68. [In Tajikistan].
18. *Gulakhmadov A., Chen Xi, Gulakhmadov M., Kobuliev Z., Gulakhmadov N., Peng J., Li Zh., Liu T. Evaluation of the CRU TS3.1, APHRODITE\_V1101, and CFSR Datasets in Assessing Water Balance Components in the Upper Vakhsh River Basin in Central Asia*. Atmosphere. 2021, 12(10), 1334. . doi: 10.3390/atmos12101334.
19. *Gulakhmadov A., Xi Ch., Gulakhmadov N., Liu T., Anjum M.N., Rizwan M.* Simulation of the Potential Impacts of Projected Climate Change on Streamflow in the Vakhsh River Basin in Central Asia under CMIP5 RCP Scenarios. Water. 2020, 12(5): 1426. doi: 10.3390/w12051426.
20. *Homopepko A.D., Tsygankov V.M., Maltsev M.G. Bazy dannykh*. Databases. St. Petersburg: KORONA-Vek, 2009: 736 p. [In Russian].
21. *Navruzov S.T. Modelirovanie v upravlenii vodnymi resursami*. Modeling in water resources management. Dushanbe: ER-graf, 2013: 280 p. [In Tajikistan].
22. *Alekseev V.V., Shishkin I.A. Geoinformation system for assessing the state of technical structures for protecting the territory from flooding. Vestnik TOGU*. Bulletin of PSU. 2012, 4(27): 69—78. [In Russian].
23. *Antonov I.V., Shishkin A.I., Chusov A.N. Methodology of rationing of admissible dumps on the basis of geoinformation modeling system. Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenii*. Construction of Unique Buildings and Structures. 2014, 3 (18): 25—37. [In Russian].
24. GIS program «DIVA-GIS». Available at: <https://www.diva-gis.org/datadown> (accessed 30.06.2021).
25. *Statisticheskij ochet o chchislennost' naseleniya Respubliki Tadjikistan 2014—2019 gg.* Statistical report on the population of the Republic of Tajikistan 2014—2019 Agency on Statistics under the President of the Republic of Tajikistan. Available at: <http://oldstat.wv.tj/ru/img> (accessed 16.06.2021). [In Tajikistan].
26. *Kuvatov I.A., Shishkin I.A., Rabizoda N., Antonov I.V., Kushnerov A.I. Relyatsionnaya baza gidrologicheskikh i gidrokhimicheskikh dannykh po vodnym ob'yektam s uchetom vodokhozyaystvennogo rayonirovaniya basseyna reki Vakhsh Respubliki Tadjikistan po sezonam za period 2014—2018 gg. dlya identifikatsii parametrov kachestva vod*. The relational database of hydrological and hydrochemical data on water bodies, taking into account the water management zoning of the Vakhsh river basin of the Republic of Tajikistan by seasons for the period 2014—2018 for identification of water quality parameters. Patent RF, no. 2021623223, 2021. [In Russian].

27. *Abdushukurov J.A., Salibayeva Z.N. Hidrogeokhimicheskiye parametry kachestva vody v rekakh Tadjikistana.* Hydrogeochemical parameters of water quality in the rivers of Tajikistan. Germany: Lambert Publishing House, 2014: 130 p. [In German].
28. *Kuvatov I.A., Shishkin A.I., Kushnerov A.I., Rabizoda N. Relyatsionnaya baza gidrokhimicheskikh daniykh vodnykh ob'yektov basseyna reki Vakhsh Respubliki Tadjikistan po sezonam za period 2014—2018 gg. dlya identifikatsii parametrov kachestva vod.* Relational database of hydrochemical data of water bodies of the Vakhsh River basin of the Republic of Tajikistan by seasons for the period 2014—2018 for identification of water quality parameters. Patent RF, no 2020622624, 2020. [In Russian].
29. *Alekseev V.V., Shishkin I.A. The Zoning based on GIS to assess the degree of risk from flooding. MNTK «Naukoemkie i innovatsionnye tekhnologii v reshenii problem prognozirovaniia i predotvrashcheniia chrezvychainykh situatsii i ikh posledstviia».* Conference «Science and innovative technologies in solving the problems of forecasting and prevention of emergency situations and their consequences». St. Petersburg: LLC «PIF.COM», 2011: 39—47. [In Russian].

### **Информация об авторах**

*Куватов Икбол Абдугафорович*, аспирант 4-го года обучения Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, [Iqbol\\_90@inbox.ru](mailto:Iqbol_90@inbox.ru).

*Шишкин Илья Александрович*, канд. техн. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» (ГУАП), [ilya@mail.ru](mailto:ilya@mail.ru).

*Антонов Иван Владимирович*, канд. техн. наук, доцент Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, [Antonovivv@yandex.ru](mailto:Antonovivv@yandex.ru).

*Рабизода Наджибулло*, канд. техн. наук, ст. преподаватель, Международный университет туризма и предпринимательства Таджикистана, факультет Цифровые технологии и менеджмента, декан, [kuvvatov-1987@mail.ru](mailto:kuvvatov-1987@mail.ru).

### **Information about authors**

*Kuvatov Ikbol A.*, 4th year post-graduate student, Higher school of technology and energy of the Saint Petersburg state University of industrial technologies and design.

*Shishkin Ilya*, PhD (Tech. Sci.), associate professor, Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

*Antonov Ivan V*, PhD (Tech. Sci.), associate professor, Higher school of technology and energy of the Saint Petersburg state University of industrial technologies and design.

*Rabizoda Najibullo*, PhD (Tech. Sci.), Senior Lecturer, International University of Tourism and Entrepreneurship of Tajikistan, faculty Digital technologies and management, dean.

**Конфликт интересов:** конфликт интересов отсутствует.

*Статья поступила 01.02.2022.*

*Принята к публикации после доработки 08.05.2022.*

*The article was received on 01.02.2022.*

*The article was accepted after revision on 08.05.2022.*

Гидрометеорология и экология. 2022. № 67. С. 283—304.  
Hydrometeorology and Ecology. 2022; (67): 283—304.

## **ОБЗОРЫ**

Научная статья  
УДК 626.1(282.247.418)  
doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-283-304

### **Трудные перекаты Волго-Каспия. Историческая ретроспектива. Часть I (IX—XIX вв.)**

***Петр Иванович Бухарицин<sup>1, 2</sup>, Сергей Анатольевич Котеньков<sup>1</sup>***

<sup>1</sup> Институт океанологии им П.П. Ширшова РАН, Астрахань, Россия, astrgo@mail.ru; piter@bukharitsin.com

<sup>2</sup> Институт водных проблем РАН

*Аннотация.* Проход из Волги по дельтовым протокам в Каспийское море, именуемый ныне «Волго-Каспийский морской судоходный канал», имеет тысячелетнюю историю. После освоения человеком дельтовых просторов судоходные маршруты периодически менялись, главным образом под влиянием колебаний уровня моря. Обширные мели устьевого взморья представляли серьезные проблемы для мореплавателей. Судоходный канал, образуемый рукавом Бахтемир, начал функционировать лишь в начале XIX в. До этого времени мореплаватели, проводя свои суда через обширные мели устьевого взморья к морю, использовали иные водные пути: по Бузану, Старой Волге, Болде. Восточные, европейские и российские источники сохранили сведения об изменениях маршрутов следования судов и о проблемах, с которыми сталкивались мореплаватели, перестраивавшим конструкцию судов для удобного прохода по дельтовым протокам.

*Ключевые слова:* дельта Волги, устьевое взморье, Каспийское море, мели, судоходство, Болда.

*Благодарность.* Работа выполнена в рамках государственного задания ИОРАН (тема № FMWE-2021-0004).

*Для цитирования:* Бухарицин П.И., Котеньков С.А. Трудные перекаты Волго-Каспия. Историческая ретроспектива. Часть I (IX—XIX вв.) // Гидрометеорология и экология. 2022. № 67. С. 283—304. doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-283-304.

## **REVIEWS**

Original article

### **Hard rifts of the Volga-Caspian: a historical retrospective. Part I (IX—XIX centuries)**

***Petr I. Bukharitsin<sup>1, 2</sup>, Sergey A. Koten'kov<sup>1</sup>***

<sup>1</sup> Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Astrakhan, Russia, astrgo@mail.ru; piter@bukharitsin.com

<sup>2</sup> Water Problems Institute of RAS

*Summary.* The Volga-Caspian Sea Shipping Canal, or the Main Bank, that passes along the Bakhtemir River has been in operation for only two hundred years. However, navigation in the Volga-Caspian region

started a thousand years ago and other watercourses of the Volga delta were used for the sea passage. Arab navigators were the first to develop the route that connected the Arab world with Russia and the countries of Europe. Since that time, the Volga Trade Route or the “route from the Varangians to the Persians” has become an important transit route from Scandinavia to the East, which made the prototype of the international North–South transport corridor. This trade route contributed to the human development of the delta spaces, the emergence of the earliest settlements and, further, the capitals of medieval states — the Khazar Khaganate, the Golden Horde, and the Astrakhan Khanate. The Caspian Sea was considered difficult for navigation, primarily due to the numerous shallows in the estuarine coastal area, which hampered the passage of vessels from the sea to the Volga. The objective of the study was to identify water routes for various historical periods. It has been found that before Russia gained access to the Caspian Sea shores, local shipbuilding remained low over a long period and the Caspian vessels were poorly adapted for river-marine navigation. In the course of studying and analyzing the literature sources, we succeeded in identifying which Volga watercourses were taken by trade caravans and how shipbuilding was developed in the Caspian region.

*Keywords:* delta of the Volga, estuarine coast, Caspian Sea, shallows, shipping, Bolda.

*Acknowledgment.* This research was conducted in the framework of State assignment of IORAS (Subject No. FMWE-2021-0004).

*For citation:* Bukharitsin P.I., Koten'kov S.A. Hard rifts of the Volga-Caspian: a historical retrospective. Part I (IX—XIX centuries). *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2022; (67): 283—304. [In Russian]. doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-283-304.

## Введение

Волго-Каспийский морской судоходный канал является одним из старейших в мировой судоходной практике. С началом мореплавания на Каспии и по настоящее время прохождение судов по Волго-Каспийскому пути выливалось в экономические потери для судовладельцев в связи с падениями уровня Каспийского моря, его обмелением и заносимостью канала.

Устьевая область Волги — одна из крупнейших в мире, она занимает в современных условиях примерно 49 000 км<sup>2</sup> и состоит из дельты (11 000 км<sup>2</sup>) и устьевого взморья (около 38 000 км<sup>2</sup>). Наиболее крупные протоки дельты — Бузан, Болда, Камызяк, Старая Волга и Бахтемир. Ни один из названных протоков волжской дельты не доходит до моря, не разделяясь на несколько новых, не слившись с каким-нибудь другим и не приняв нового названия. В состав устьевого взморья Волги входит обширная отмелая зона площадью около 10 000 км<sup>2</sup>, примыкающая к морскому краю дельты. Протяженность этой зоны от морского края дельты до свала глубин отмелой зоны составляет 35—50 км [1]. Указанная зона мелей, ежегодно намываемая сильным речным течением, образует бар. В этой мелководной зоне насчитываются сотни рукавов и проток, густо заросших тростником. Не имея надежного фарватера, входящие с моря в волжское устье суда, даже с мелкой осадкой, могли «сесть» на мель или заблудиться среди тростниковых крепей и многочисленных дельтовых протоков. Данные проблемы для судоходства существовали еще в древности. Следует отметить, что Волго-Каспийский судоходный канал, образуемый р. Бахтемир, начал функционировать лишь в начале XIX в. До этого времени мореплаватели, приспособивая конструкции своих судов для прохода к морю через устьевое взморье, использовали иные водные пути: по Бузану, Старой Волге, Болде.

Цель статьи — на основе совместного анализа восточных, западноевропейских и российских исторических документов, картографических материалов,

археологических артефактов установить судоходные маршруты IX — начала XIX вв. по протокам волжской дельты к Каспийскому морю, уточнить их протяженность, рассмотреть конструкции морских судов, преодолевавших мели устьевого взморья.

### Исходные материалы и методика исследований

Для определения судоходных маршрутов по указанным протокам были использованы: персидские, арабские источники IX—XIV вв.: записи российских, европейских дипломатов, негоциантов, путешественников XV—XIX вв.; артефакты, обнаруженные и введенные в научный оборот авторами; отчеты археологических исследований, в которых авторы принимали непосредственное участие; картографические материалы XIX в. [2, 3], в которых представлены несохранившиеся топонимы дельтовых протоков.

Начало плаваний по Волго-Каспийскому пути, связывавшего Азию и северо-восточную Европу, относится к VIII в., когда хазары под натиском арабов вынуждены были перенести резиденцию кагана из Дагестана на Волгу в город Итиль. Время переноса столицы Хазарского каганата на берега Волги можно считать началом возникновения поселений в Астраханском крае. Сгруппированные на берегах Волги и ее протоках, они основывались, как торговые фактории для обслуживания Волго-Каспийского пути. Арабские мореплаватели первыми освоили этот торговый путь, проходивший через хазарскую столицу. В арабских и персидских географических сочинениях IX—XII вв. имеются сведения о систематических корабельных караванных связях по Волге и Каспию и о главных торговых центрах в низовьях Волги этого времени — городах Хамлидже (Итиле) и Саксине [4, 5].

Описание волжской дельты мы находим еще на страницах «Повести временных лет», где сообщается: «...ис того же леса (Оковского) потече Волга и вътечеть семьдесят жерел в море Хвалисьское (Каспийское)<sup>1</sup>» [6]. У Ал-Идриси (XII в.) записано, что «река Атил (Волга) ... разветвляется более чем на семьдесят рек, но главное русло реки впадает в море ал-Хазар» (Каспийское) [7].

Известно, что торговцы совершали плавания по Волге и Каспию не на отдельных судах, а целыми караванами, насчитывающими десятки судов [4]. По новому торговому пути арабы в течение нескольких столетий доставляли на Русь и в страны северной Европы восточные товары, а главное, первую разменную монету — арабские дирхемы. С территории Руси на юг по Волге отправлялись торговые караваны на лодьях. По сообщениям географа Ибн-Хордадбега (середина IX в.), «Они (купцы) — племя из славян, привозят меха выдры, меха черных лисиц и мечи... часто везут свои товары до Багдада» [8]. И арабские суда (сафина, заурак, макраб), [4] и славянские лодьи представляли собой плоскодонные одномачтовые парусно-весельные суда типа «река-море» с осадкой не более 2—3 футов (0,6—0,9 м), которым были не страшны мели устьевого взморья.

<sup>1</sup> Здесь и далее использовано авторское оформление.

Возникает вопрос, по какой из протоков, после прохождения устьевого взморья продвигались караваны судов, чтобы попасть в Волгу. Вопрос о местоположении г. Итиль пока остается открытым, но, по нашему мнению, этот город должен был находиться, именно, в дельте Волги. Это подтверждает Ибн Хордадбех (IX в.), который, сообщая о плаваниях от Горгана до столицы хазар, указал, что «*город Итиль находится на «входе» в Хазарское море*» [4] (**Каспийское**). Вероятно, под «входом» в море подразумевалась дельта Волги.

Первое из обнаруженных в дельте крупное хазарское поселение — Семибугоринский археологический комплекс, расположен у села Семибугры Камызякского района Астраханской области [9]. Данный объект упомянут еще Л.Н. Гумилёвым в 1960-х гг., где им была обнаружена хазарская керамика [10]. Комплекс занимает правый и левый берега р. Болда и по обилию артефактов, аналогичных Салтовомаяцкой культуре (государственной культуре Хазарского Каганата), может претендовать на местоположение г. Итиль. Маршрут судов мог слагаться следующим образом: миновав устьевое взморье, корабли проходили по протоке Болда, мимо Семибугров и поднимались вверх по течению, входили в протоку Прямая Болда и, следуя по ней в западном направлении, корабли выходили к Волге (рис. 1). Наверняка и на островах каспийского мелководья хазары устраивали заставы, где имелись лоцманы способные встретить и проводить торговцев через густые тростниковые крепи до столичного центра. Как известно, хазарский правитель не имел собственных судов, но имел большие доходы, взимая десятину с проходящих торговых судов. Волжская Хазария представляла собой огромную таможенную заставу, запиравшую путь по Волге [11]. Уже в хазарское время были освоены западное направление Каспийского морского пути — к областям Арабского Халифата и восточное для торговли со странами Центральной и Средней Азии.

Существует мнение, что причиной гибели Хазарии стали походы князя Святослава, разрушившего хазарские города на Дону и на Кавказе. Но с волжской Хазарией дело обстояло иначе. Она погибла не в результате нашествия славянских дружин, а в результате природного катаклизма. Ко времени освоения хазарами дельты (середина VIII — начало X вв.), уровень Каспия был достаточно низок: от  $-29,4$  до  $-32,0$  м абс. Но в результате трансгрессии Каспийского моря во 2-й половине X в. отметки уровня моря поднялись от  $-26,5$  до  $-24,5$  м абс. [12]. Изменение экологических условий в дельте Волги ухудшило хозяйственное положение волжской Хазарии и привело к затоплению хазарских поселений и столицы — г. Итиль. Население вынуждено было либо ютиться на бэровских буграх, являвшихся островами, либо покинуть обжитые места и переселиться вверх по течению реки [10]. Данную версию подтверждают аллювиальные слои, перекрывающие культурные слои конца IX — начала X вв. на территории «Семибугоринского археологического комплекса», свидетельствующие о затоплении данных участков в связи с подъемом уровня Каспийского моря в середине X в. [9]. Смещение морского края дельты привело к занесению русла реки Болда, и, как следствие, обмелению ее фарватера. Этой ситуацией воспользовались главные враги хазар — печенеги и славяне, которые нанесли ослабленной Хазарии последний удар [10]. Хазарский каганат как государство навсегда исчезает с исторической карты мира.

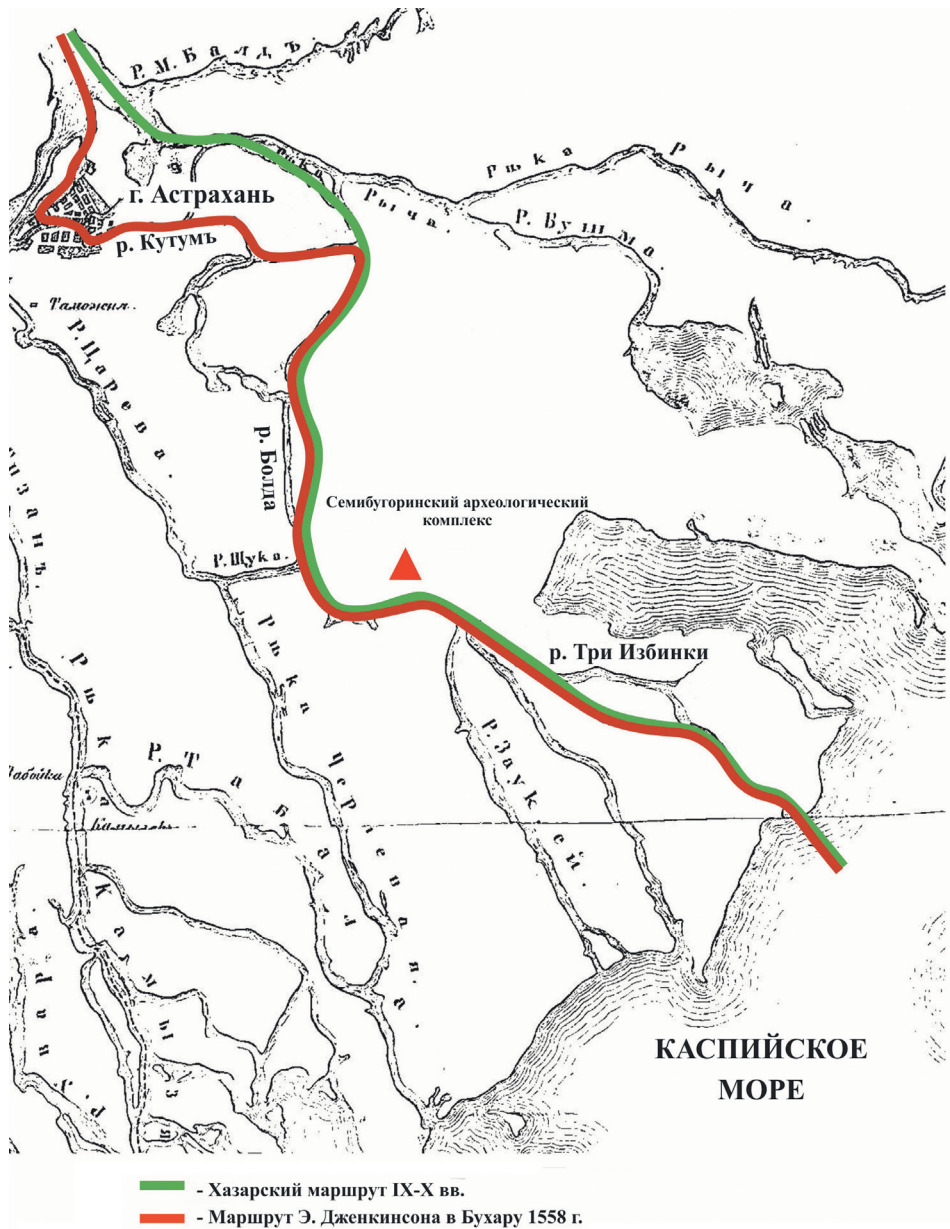


Рис. 1. Фрагмент карты устья реки Волги от г. Астрахани до Каспийского моря, 1854 г. [2]. Судоходный маршрут по протоке Болда.

Fig. 1. A fragment of a map of the mouth of the Volga River from Astrakhan to the Caspian Sea, 1854 [2]. Shipping route along the Bolda Channel.

Но в начале XI в. гидрологическая ситуация в дельте вновь меняется: происходит спад уровня моря до отметок  $-29,0$  м абс. [12]. У арабского географа Ибн-Хаукаля (X в.) сохранились свидетельства, что хазары после разгрома Хазарии Святославом вернулись в дельту Волги [5]. Новый город был построен северо-западнее, на правом берегу р. Старая Волга. На данном участке, менее подвергнутом подтоплению в X в. расположено Самосдельское городище (с. Самосделка Камызякского района). В этом месте от Старой Волги отделяется в юго-западном направлении протока Сомовка, по которой через протоки р. Бахтемир можно выйти к морю (рис. 2). Время возникновения крупного городища на этом месте подтверждают обнаруженные артефакты, датируемые периодом не ранее XI в. Территория волжской дельты стала именоваться «область Саксин», а новый город — Саксин. Арабский путешественник Ал-Гаранти, посетивший Саксин в XII в., подтверждает его местоположение в дельте Волги: «Город находится на огромной реке, который называют Саджсин, рядом с этой рекой тысяча рек» [13] (**дельтовые протоки**). Этот автор трижды «переплывал из Саджсина в землю хазар и тюрков в Хорезм» и на судне добирался от Саксина до Булгара (город на Средней Волге), что свидетельствует о восстановлении плаваний по Волго-Каспийскому пути [4]. Вероятно, с этого времени маршрут торговых судов по Волге к каспийскому взморью стал проходить через протоки Сомовка и Старая Волга (рис. 2).

Во время монгольского нашествия в XIII в. город был разрушен, но затем вновь отстроен монголами, получив новое имя — Суммеркент, став уже золотоордынским торговым центром на Волго-Каспийском пути [14] (рис. 2). Но главным дельтовым торговым центром XIII в. являлась столица Золотой орды — Сарай, основанный на месте кочевья Бату, в русской традиции именовавшийся Беркезань. Первоначально столичный центр располагался на месте Красноярского городища у с. Красный Яр в месте слияния двух рек Бузана и Ахтубы [15]. Местоположение Сарая в дельте подтверждают фламандский монах-францисканец Гильом Рубрук (середина XIII в.), что «ниже Сарая, Волга делилась на несколько рукавов» [35], и арабский географ Абу-л-Фида (XIV в.), по свидетельствам которого Сарай находился в двух днях пути от моря Хазарского (Каспийского). Источники содержат сведения о существовании путей в Хорезм из Сарая по Каспийскому морю до Мангышлака [16]. Продвигаясь от Сарая (Красного Яра) вниз по течению по протоке Бузан, суда выходили в Каспийское море.

Но очередные колебания уровня Каспия в XIII — начале XIV вв., приведшие к подъему его уровня до  $-24,4$  м абс. [12], сопровождавшиеся частыми затоплениями и грунтовой подмочкой, нарушали нормальную жизнь жителей дельтовых городов. По этой причине г. Суммеркент в XIV в. пришел в запустение [17]. В данный период морской край дельты сместился вплотную к Сараю — Красноярскому городищу, становившемуся при разливах р. Волги островом [16]. В 30-е гг. XIV в. дабы избежать затопления столица Золотой Орды была перенесена севернее — на правый берег р. Ахтубы, в район Селитренного городища у с. Селитренное Харабалинского района [15, 16]. Новый Сарай был отстроен не в низинном месте, как Семибугоринское и Самосдельское поселения, а на бэровских буграх. Старый





Сарай продолжал выполнять функции торговой фактории, через которую проходили торговые суда, следовавшие из Нового Сарая по Ахтубе к морю.

Новым дельтовым центром золотоордынской торговли становится г. Хаджи-Тархан, построенный на правом берегу Волги, на месте городища Шареный Бугор (территория Трусовского района г. Астрахани). Можно предположить, что в эпоху Золотой Орды от Хаджи-Тархана до моря использовался старый «саксинский» маршрут по Старой Волге (рис. 2).

В эпоху Золотой Орды на Каспии наступает эпоха крупнотоннажных судов. Еще Марко Поло указывал на то, что генуэзцы во второй половине XIII в. перевезли на Каспийское море свои суда [18]. Эти суда, типа «река-море», способные преодолеть путь от генуэзских и венецианских факторий на Черном и Азовском морях по Дону и, затем, переправившись через переволоку (в районе г. Волгограда), по Волге выходили в Каспийское море. Традицию строительства крупных судов жители городов западного побережья Каспия переняли у итальянских мореплавателей. Вероятно, к одному из таких судов мог принадлежать каменный якорь, выделанный из песчаника и обнаруженный авторами статьи в 2020 г. на левом берегу р. Кизань в 2 км к югу от с. Затон, Камызякского района Астраханской области. Аналогичные якоря, датируемые XIII—XIV вв., обнаружены на западном берегу Каспия в акватории г. Дербент [19].

После распада Золотой Орды в XV в. г. Хаджи-Тархан становится столицей Астраханского ханства, по-прежнему оставаясь единственным в дельте Волги центром транзитной торговли на Волго-Каспийском пути. Русские летописи сохранили краткие сведения о судах, плававших по Волге и Каспию, называя их на русский манер «ушкули» (ушкуи) [20]. Ушкуи представляли собой одномачтовые парусно-весельные плоскодонные суденышки, которые имели осадку 4—9 футов (1,2—2,7 м) [21], позволявшие совершать в т.ч. и морские плавания. В Хаджи-Тархан продолжали прибывать купцы из Персии, Ширвана, городов Северного Азербайджана. Московия, используя исключительно речные суда, вывозила по Волге из Хаджи-Тархана, главным образом, соль [22].

Первые письменные упоминания о трудностях, которые встречали мореплавателей еще на подступах к Каспию (многочисленные мели и «противные» ветра), мы находим в источниках XV в. Так, суда тверского купца Афанасия Никитина «*большое*» и «*меньшее*» в 1466 г., следуя по Волге, достигли дельты. Затем вошли в Бузан, миновали *Беркезань (Красный Яр)*, но опасаясь засады, устроенной татарами, не пошли дальше по Бузану к морю, а свернули к Волге. Миновав Хаджи-Тархан, спустились вниз по Волге, где сначала сели на мель на «*Бегунском полозе*» (**местоположение неизвестно**), затем «*меньшее судно застряло на езу*» — деревянном заграждении для ловли рыбы [23] (**учуге**). Отметим, что учуги являлись в дельте единственными населенными пунктами — ориентирами для торговых судов, продвигавшихся по протокам дельты. Затем «*в устье Волги стало на мели большее судно*». При этом на них неоднократно нападали татары, разграбив все товары. В итоге, к морю вышло только «*большое судно*», попавшее впоследствии в шторм и разбившееся на дагестанском побережье у г. Тарки. Причем, в это же время, судно московского посла Василия Папина прошло мимо

Беркезани и, спустившись по Бузану к морю, благополучно добралось до Дербента [23].

Венецианский дипломат и путешественник Амброджо Контарини, следуя в 1476 г. из Дербента в Хаджи-Тархан на ширванском торговом судне, из-за сильного течения и ветра 2 недели добирался от устья Волги до Хаджи-Тархана. Итальянец оставил описание *«ширванского судна, имеющего форму рыбы, узкое в корме, а на боках очень вытуклое»*, которое он именовал «баркой» [24]. По нашему мнению, это было плоскодонное, одномачтовое судно с квадратным парусом, имевшее осадку более 5 футов.

Со времени присоединения Астраханского ханства к Московии в XVI в. Русская Астрахань основывается на левом берегу Волги, напротив пришедшего в запустение Хаджи-Тархана. По традиции новый дельтовый город-крепость отстраивался на бэровском бугре. Левый берег для москвитов был безопаснее правого — «крымского», куда в 1569 г. прибыло турецкое войско Касым-паши, дабы отвоевать у Московии для своих вассалов — астраханских ханов — их земли. И Волга стала для турок естественной преградой, ставшей одной из причин, сорвавшей их планы штурмовать город.

В это время торговля на Каспии получает новый импульс. К середине XVI в. «сухопутный» шелковый путь из Китая в страны Европы пришел в запустение. Одним из главных производителей и поставщиков шелка-сырца и шелковых тканей в прикаспийском регионе становится Персия. И с выходом Московии на берега Каспия, Волго-Каспийский торговый путь был основной составляющей «Московского шелкового транзита», а Астрахань становилась ключевым портом на Каспии. В XVI—XVII вв. Англия, Голштиния, Голландия, Франция начали «протаптывать дорожки» на этом пути, создавая купцам Московского царства конкуренцию в торговле шелком.

Для получения возможности перевозки большего количества этого ценного товара купцам требовались крупнотоннажные суда. Это было вполне оправдано, учитывая, что, к примеру, англичанам предстоял весьма длительный обратный путь от Астрахани до Архангельска и далее, по «студеным морям» — Белому, Баренцеву, Норвежскому, Северному — до берегов Англии. Не имело смысла рисковать средствами, а, порой, и жизнью ради провоза мелких партий товаров.

Англичанин Томас Рандольф, посетивший Россию в 1568 г., заметил, что *«в Каспийском море удобно плавать на очень больших плоскодонных судах, которые плавают дальше английских»* [25]. Ян Стрейс в 1660-х гг. отмечал, что *«по Каспийскому морю хорошо ездить в плоской ладье, суда, сидящие глубже, не всюду могут пройти»* [26]. Французский дипломат де ла Невилль в 1689 г. писал, что *«московские суда ничто иное, как большие лодки, снабженные двумя рулями и парусом, который в случай непопутного ветра опускается, и судно, таким образом, отдается на волю ветра»* [27].

Наиболее точное описание каспийского торгового судна сохранилось у А. Олеария: *«Персидские и русские суда похожи на купальные ванны; они стоят очень высоко над водой, скрепляются снизу доверху многими балками и поперечными брусьями, выходящими по обе стороны наружу и укрепленными*

с помощью клиньев, у них только один большой парус» [28]. Данное описание судна полностью соответствует единственному сохранившемуся рисунку каспийского судна — бусы в трактате Н. Витсена «Старинное и современное судостроение и судовождение» [29] (рис. 3 а). В источниках упоминаются русские, гиланские, ширванские, «турские» (турецкие) морские корабли — бусы [30]. Нам представляется, что термином «буса» именовались все крупные каспийские суда, с одной, двумя мачтами с осадкой более 5 футов (1,5 м), не позволявшей беспрепятственно миновать мели устьевого взморья. Водоизмещение данных судов составляло, по разным источникам, от 35 до 47 т [26, 31]. Ян Стрейс и Исаак Масса оставили упоминания, что у персидских и ширванских купцов имелись суда типа «река-море», добиравшиеся до Москвы и способные перевозить товары и по Волге и Каспию [26, 32]. Это были небольшие корабли, типа русских одномачтовых

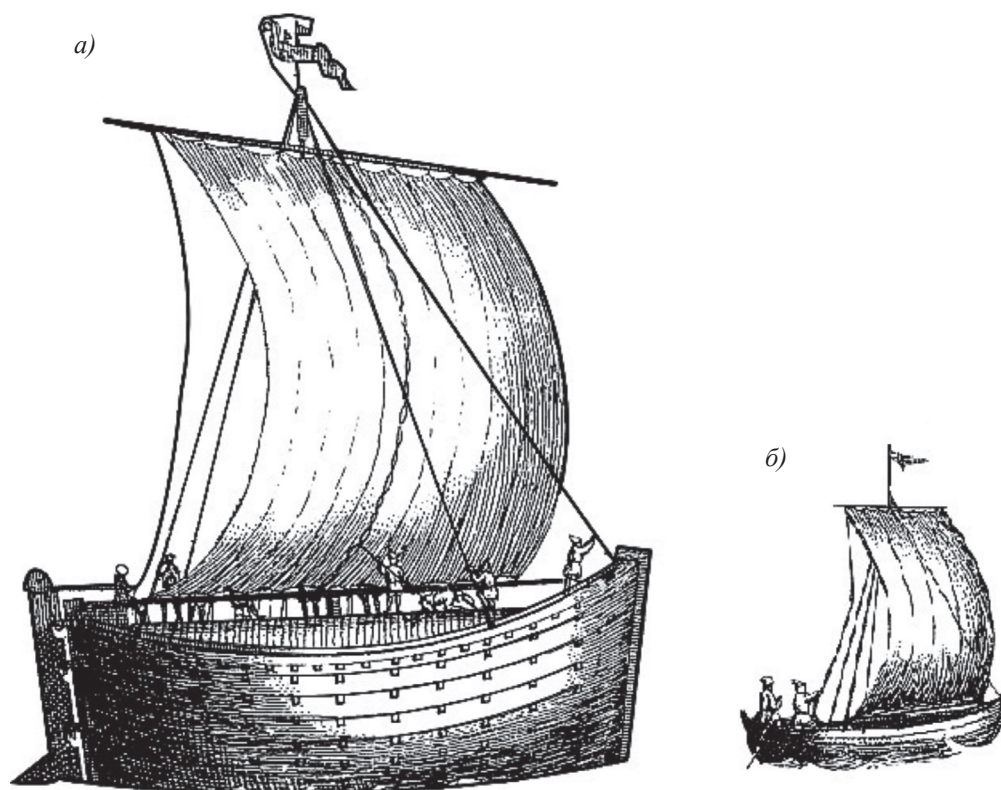


Рис. 3. Изображения каспийских судов  
(Н. Витсен «Старинное и современное судостроение и судовождение», XVII в [29]):  
а) буса; б) струг.

Fig. 3. Images of the Caspian ships  
(N. Witsen “Ancient and modern shipbuilding and navigation”, XVII in [29]):  
а) busa, б) strooge.

парусно-весельных судов, именовавшихся на русский лад «струги» [29] (рис. 3 б), с осадкой не более 3—4 футов (от 0,9 до 1,2 м) [33].

В «погоне за шелком» англичане в течение XVI в. совершили по Каспию шесть путешествий в Персию и одно «в Бухару». Энтони Дженкинсон — дипломат и купец, во время путешествия «в Бухару» в 1558 г. прошел по «*восточному рукаву*», преодолев путь в 20 лье (96,5 км) от Астрахани к морю за 5 дней. Вероятно, его маршрут сначала пролегал по р. Кутум, затем по р. Болда, которая и являлась «восточным рукавом», имевшим прямой выход в Каспийское море [31] (рис. 1). Проход к морю по протокам Бирюлю и Камызьяку считался небезопасным по причине их мелкого фарватера. Посольство князя Г.Б. Васильчикова, возвращавшегося в 1589 г. из Персии восточным берегом моря, не смогло из-за мелей пройти по указанным протокам [34]. Впоследствии, Дон Жуан Персидский (Орудж-бек Баята), посол Сефевидов ко двору испанского короля в 1599 г. прошел из Персии восточным берегом Каспия, но, опасаясь сеть на мель на указанных протоках, «*встал на якорь в 30 лье*» (166 км) от Астрахани. Налетевший шквал едва не перевернул их судно, заставив путешественников выбрасывать за борт провиант, ценный груз и сундуки с личными вещами. Позднее им пришлось перегружать грузы на присланные *губернатором* (воеводой) *галеры* (струги) и на них добираться до города [35].

Свое второе путешествие в 1562 г. Дженкинсон совершил в Персию по маршруту, ставшему впоследствии главным для всех торговых судов. Снарядив бусу, в сопровождении охраны 50 вооруженных стрельцов на двух стругах англичане, продвигаясь в юго-восточном направлении, за 1,5 суток преодолели расстояние в 20 миль (37 км), вышли к устью Волги [31]. Под «устьем», расположенным в 37 км от Астрахани, Дженкинсон подразумевал место, где Волга разделяется на протоки Бахтемир и Старая Волга. Продвигаясь от «устья» по Старой Волге и далее по неизвестным протокам, англичане «*подплыли к земле, называемой «Чаллика острова», состоящей из четырех круглых островов» (о. Четыре Бугра)* [31] (рис. 2). Дженкинсон преодолел расстояние 69 миль (124 км) от Астрахани до данного острова за 5 дней.

Стараясь провезти в трюмах больше ценного шелка, европейские купцы часто пренебрегали правилами судоходства, пытаясь проводить через устьевое взморье крупные суда. Англичанин Артур Эдуардс отправился из Астрахани в 1566 г. в Персию на судне, «*построенном по английскому образцу*» вместимостью 30 т. Его путешествие затянулось «*по причине мелей и “противных ветров”*». Вероятно, осадка его судна составляла свыше 5 футов (1,5 м), т. к. впоследствии А. Эдуардс отметил, что для Волго-Каспия «*можно строить суда вместимостью до 60 т, но с осадкой не более 5 футов*» [31]. Томас Бэнистер и Джеффри Джетна, направляясь из Персии в Астрахань в 1572 г. на судне с осадкой более 5 футов, «*вследствие постоянных перемен ветра и опасного мелководья Каспийского моря, носились по морю около 20 дней*». А когда «*стояли на якоре в мелких водах*», их ограбили «*пираты из русских казаков*» [31].

Англичанин Христофор Бэрроу, в мае 1579 г., отплыл из Астрахани на «*крупном корабле*» в сопровождении *паузка* (гребное парусно-весельное судно),

который вел их судно на буксире. Попав на мелководье, где «глубина составляла 3 фута и даже меньше», англичане вынуждены были «облегчать» судно с помощью паузков и вели разгруженный корабль на буксире до о. Четыре бугра, преодолев расстояние в 40 верст за 17 дней! [31]. Отплыв от Четырех Бугров 12 верст, достигли глубины 5,5 футов и перегрузили товары с паузка на корабль. И, наконец, отдалившись от острова еще на 50 верст, «вышли из мелей», достигнув глубины 9 футов [31]. Х. Бэрроу первым упомянул, что за островом находится безопасный для судоходства «9 футовый рейд»! В обратный путь, в Астрахань, длившийся 3 месяца, англичане отправились 5 октября 1580 г. в конце навигации, когда «были упущены ветры южных румбов» на неисправном корабле, который «прогнул, был ветх, давал течь» [31]. Испытав на себе все трудности каспийских штормов, только через 3 недели они добрались до места, где заканчивалась 9 футовая глубина и встали на последнюю стоянку в 50—60 верстах к юго-западу от Четырех бугров [31]. Когда Х. Бэрроу и его спутники, бросив судно, уже по льду добрались до острова, «на них напала многочисленная шайка конных ногайских татар». Им пришлось еще долго плутать по заснеженной дельте, пока, наконец, только 4 декабря уже на санях путешественники и их товары добрались до Астрахани [31]. А их судно, брошенное на мелководье, «было разбито льдом в щепки». Согласно документов Астраханской приказной палаты, начиная с 1-й четверти XVII в. «на Четырех Буграх» существовал стрелецкий пост для охраны и досмотра грузовых кораблей. Минуя остров в направлении моря, суда выходили на 9-футовый, морской рейд — главный фарватер, по которому лоцманы проводили суда через протоки дельты «до пристани реки Аграхани» (Дагестан) [36]. Но в конце навигации перегрузка судов прекращалась по причине начала ледостава, суда и стрелецкий караул возвращались в Астрахань. Еще Степан Разин, после Персидского похода в 1669 г., укрывался на острове и грабил проходящие суда [26].

Московский купец Федот Котов, совершивший в 1623 г. путешествие в Персию, первым оставил точное описание маршрута водного пути от Астрахани к морю. «В тридцати верстах от Астрахани на луговой стороне есть протока. Здесь находятся рыбные загоны Астраханского монастыря, а также храм и двор» [37]. Речь идет о протоке Иванчуг, на берегу которой располагался одноименный учуг. Отметим, что Иванчуг упомянут в описании маршрута как единственный ориентир, располагавшийся, как раз, напротив участка перехода судов из Волги в Старую Волгу. «Отсюда до Бирюля пятнадцать верст. Здесь прежде был каменный город» [37]. Бирюлем ранее именовалась р. Старая Волга, каменный город — городище Самосделка, расположенное в месте, где р. Старая Волга разделяется на протоки *Бирюль* и *Сомовка* (наименования рек сохранилось до наших дней). Проход в море по Бирюлю, из-за мелководности фарватера, как мы указывали выше, был невозможен. «От Бирюля до Рослоба пятнадцать верст. В Рослобе находится государев рыбный загон» [37]. Топоним «Рослоба» обозначает р. Уруслово плёсо, являвшейся продолжением р. Сомовка. На берегу Уруслово плёса располагался «рыбный загон» — учуг Урустоба. В итоге получается, что расстояние от Астрахани до «рыбного загона в Рослобе» — учуга Урустоба — составляет 60 верст. Местоположение данного учуга и расстояние между

ним и городом, указанное Ф. Котовым, полностью совпадает с данными из доклада Рыбной конторы 1741 г. астраханскому губернатору В.Н. Татищеву [38]. Далее купец сообщает, что *«От Рослоба пятнадцать верст до Прорвы, здесь стоит стрелецкий караул. От этого караула тридцать верст до Четырех бугров»* [37]. Стрелецкий караул-карантин в местности «Прорва» на пути следования судов располагался на о. Бирючья коса (современное село Бирючья Коса). Если учесть, что о. Четыре бугра располагался в окрестностях современного села Вышка Лиманского района Астраханской области, то расстояние от него до с. Бирючья коса, как раз, и составляет 30 верст. Итак, маршрут Ф. Котова от Астрахани к о. Четыре Бугра протяженностью 105 верст (111 км) пролегал по Волге, затем по Старой Волге, далее протоками Сомовка и Уруслово плёсо, минуя учуг Урустоба и стрелецкий пост на о. Бирючья коса, к о. Четыре бугра (рис. 2). Ф. Котов отмечает, что крупнотоннажные суда — *«гилянские бусы не заходят в устье Волги и под Астрахань, а стоят в море. Товары же с бус в Астрахань и из Астрахани на бусы перевозят на судах и повозках»* [39].

Адам Олеарий, секретарь шлезвиг-голландского посольства, отправился в 1637 г. в Персию на построенном в Нижнем Новгороде парусно-весельном судне «Фредерик» водоизмещением 500 т и осадкой 7 футов (2,13 м) [39]. На пути к устьевому взморью судно сопровождала «татарская баржа» (парусно-весельное плоскодонное судно) для разгрузки в зоне мелководья. Покрыв за три дня лишь 30 верст (32 км), они добрались до *«главного места рыбной ловли — учуга Троицкого монастыря» (Иванчуга)*, где *«Волга делится на много потоков»* [28] (рис. 3). Переход *«до места Сухатер — 4 холма суши» (о. Четыре бугра)*, расположенному в 100 верстах от Астрахани занял у них почти 3 недели. Преодолевая мелководья Каспия, *«где тянется исключительно вязкий тинистый грунт, на котором воды повсюду было не более 4 или 5 футов, а при северо-западном ветре она спадала до 3 футов»*, им приходилось *«тащить судно якорями»*, *«нести лошадиную работу, перетягивая корабль то туда, то сюда»* в результате, *«порой в день не могли сделать более одной мили»* (1,8 км). Путешественники вынуждены были *«сидеть на мели в ожидании «хорошего» (юго-восточного) ветра, чтобы, поднявшись с моря, он нагнал воды»* и *«попутного ветра (северо-западного), чтоб отправиться на парусах в путь. Но нагонный ветер, если и поднимал уровень воды, порой, до 5 фут., становился такой силы, что превращался в «противный, затруднявший продвижение судна под парусом»*. За это время им несколько раз встретились торговые караваны *«барж»* (плоскодонных судов, с низкой осадкой), направлявшиеся, как в сторону Персии, так и в сторону Астрахани. К тому же в пути выяснилось, что *«русский лоцман не знает ни пути, ни плавания»*, а имеющиеся у них морские карты оказались *«совершенно неверны и не позволяли определить путь»*. Им удалось уговорить персидского торговца, нагнавшего их на своем судне, быть их проводником на пути в Персию. Наконец, обогнув с востока о. Четыре бугра они достигли 10-футовой глубины [28]. Но, добравшись до дагестанского берега, «Фредерик» попал ночью в шторм в Каспийском море и был выброшен на скалистый берег Дагестана около Низибата, потеряв почти все товары и большую часть экипажа [28].

Отметим, что первый российский фрегат «Орел», построенный в Дединове в 1668 г. для прохода через мелководье устьевого взморья при водоизмещении в 160 т имел осадку по кильватерной линии — 7 футов (2 м) [40]. Нам уже никогда не узнать, сумел ли «Орел» преодолеть мели устьевого взморья, т. к. восстание С. Разина помешало вывести фрегат в Каспийское море. Но его команде, бежавшей из Астрахани накануне его штурма разинцами, довелось пройти путь к морю по дельтовым протокам. Группа беглецов Я. Стрюйса, покинувшая город накануне штурма, прошла на шлюпке по Кутуму в Волгу и вышла к морю по протокам ее правобережья. При этом Стрюйс отметил, что устье Волги *«на 70 миль заросло камышом, столь глубоким, как само море»* [26]. Капитан «Орла» Д. Бутлер первый раз бежал из Астрахани на лодке во время штурма города. Сначала по Волге, затем по Старой Волге добрался до Иванчуга, но был схвачен восставшими стрельцами и доставлен обратно в Астрахань [26]. Второй побег Бутлер совершил на судне дагестанских купцов, добравшись до *«берега Каспийского моря»* за рекордное время — 1,5 суток! Затем, миновав *«Settinago Gora» (о. Четыре бугра)*, где стояли на якоре крупнотоннажные суда, вышли на глубины 11—12 футов [26]. Следует отметить, под термином «берег моря» путешественники XVII в. подразумевали морской край дельты, границы которого полностью зависели от уровня Каспийского моря в определенный период времени.

По сообщениям голландского путешественника Корнелиуса де Бруина, в начале XVIII в. судоходство на Каспии в период навигации было интенсивным [41]. Только за один день голландец отметил *«прибытие из Персии в Астрахань восемь барок (торговых судов), из которых четыре принадлежало русским, а остальные магометанам»*. В 1703 г. де Бруин отправился в Персию на *«маленьком судне, с одним только большим парусом, который удваивают еще при хорошем ветре»*. Тем не менее, судно *«вмещало 250 тюков груза, 2 бронзовые пушки, матросов, стрельцов, путников»*. Их сопровождал местный кормчий — лоцман [41]. Груз до выхода в море разместили на сопровождавшем их грузовом струге, который затем вернулся в Астрахань. За сутки они добрались до *«рыболовли — рыбной заимки» (Иванчуга)*. Река в районе учуга разделяется на несколько рукавов (**Старая Волга, Иванчуг, Гандурино**). Затем, *«проехав от Астрахани от восьмидесяти до девяноста верст, что составило семнадцать часов пути, добрались до сторожки (стрелецкого караула на о. Бирючья Коса), в четырех верстах от моря»*. Здесь местность становилась *«чрезвычайно болотистой»*, *«оказались песчаные мели, обозначенные воткнутыми древесными ветками»*, *«судно сидело на 8 ладоней (0,8 м) в воде»*. Путешественники в течение двух дней постоянно *«наезжали на мели»*, пока, наконец, не добрались до Четырех Бугров, расположенных в 100 верстах от Астрахани, где бросили якорь на *«1,5 саженной глубине»* (3,24 м) [41].

«Московский шелковый транзит», способный превратить Астрахань в самый процветающий порт на юге России, так и не состоялся. К отмеченным Е.В. Гусаровой причинам неудач «московской ветви» шелкового пути (несовершенное судоходство русских, морские разбои, злоупотребления «начальников» на местах [36]) следует добавить еще немаловажную — мелководья предустьевого взморья. Кроме того, периоды безвластия в Астрахани — Смутное время (1598—1613 гг.),



разинский бунт (1669—1671 гг.), астраханское восстание — «свадебный бунт» (1705—1706 гг.) — также негативно сказались на развитии каспийского судоходства. После каждого из указанных событий на восстановление торговли в каспийском регионе уходило десятки лет.

В начале XVIII в. указами Петра I было запрещено строить и использовать на Каспии «староманерные» суда — бусы. Последний раз их задействовали в Персидском походе 1722—1723 гг., где в составе флотилии состояли уже «новоманерные» суда, построенные по голландскому образцу: гекботы, галиоты, гуконы, шуйты, тьяки, яхты, эверсы. Выступив в поход 18 июля 1722 г., флотилия из 274 судов на третий день беспрепятственно добралась до о. Четыре бугра [42]. Но самыми популярными и многочисленными для коммерческих целей являлись тьяки и шкуты — плоскодонные суда с широким корпусом и малой осадкой — до 1 м [43]. По возвращении в Астрахань после взятия Дербента по указу Петра I на о. Четыре бугра была отстроена пристань, амбары с провиантом и пресной водой, жилые постройки и маяк [36]. До начала XIX в. судоходная трасса от Астрахани до взморья проходила р. Волгой, далее Старой Волгой, до р. Сомовки; потом этой рекой, через Уруслово плёсо. На картах появился более подробный маршрут прохода от Уруслова плёса: по протоке Малый Чулпан, затем проход к западу от островов Житный, Зюзина, восточнее островов Бирючья Коса и Ватажный к о. Четыре бугра. Миновав этот остров, суда выходили на 9 футовый рейд [3] (рис. 4). Только с 1818 г. движение кораблей стало осуществляться по правому волжскому рукаву — Бахтемиру.

### Выводы

Исследованный комплекс восточных, западноевропейских и российских источников, анализ картографических материалов 2-й половины XIX в., сохранивших топонимы исчезнувших и пересохших дельтовых протоков, изученные материалы археологических исследований, непосредственно, древние артефакты, позволили восстановить картину развития судоходства и освоение дельтового пространства в IX—XIX вв., очертить круг проблем, с которыми сталкивались мореплаватели, преодолевая мели устьевого взморья как на выходе, так и на входе с моря. Удалось проследить судоходные маршруты по протокам волжской дельты, уточнить их протяженность, рассмотреть конструкции морских судов. Было установлено, что в IX—X вв., в начале функционирования Волго-Каспийского пути, когда в дельте Волги появились первые поселения, основной водный маршрут проходил по протоке Болда (рис. 5). После подъема уровня Каспийского моря в X в. судоходные пути в XI—XV вв. сместились к западу и к востоку и стали проходить по протокам Старая Волга и Бузан (рис. 5). После выхода Московии на берега Каспия в XVI в. и до середины XIX в. маршрут продолжал проходить по Старой Волге (рис. 5). При использовании крупнотоннажных судов (бусов) у мореплавателей стали возникать проблемы по преодолению мелей устьевого взморья, порой приводившие к гибели судов и грузов. Поэтому суда для их прохода через мелководную зону сопровождали мелкие парусно-гребные суда (струги



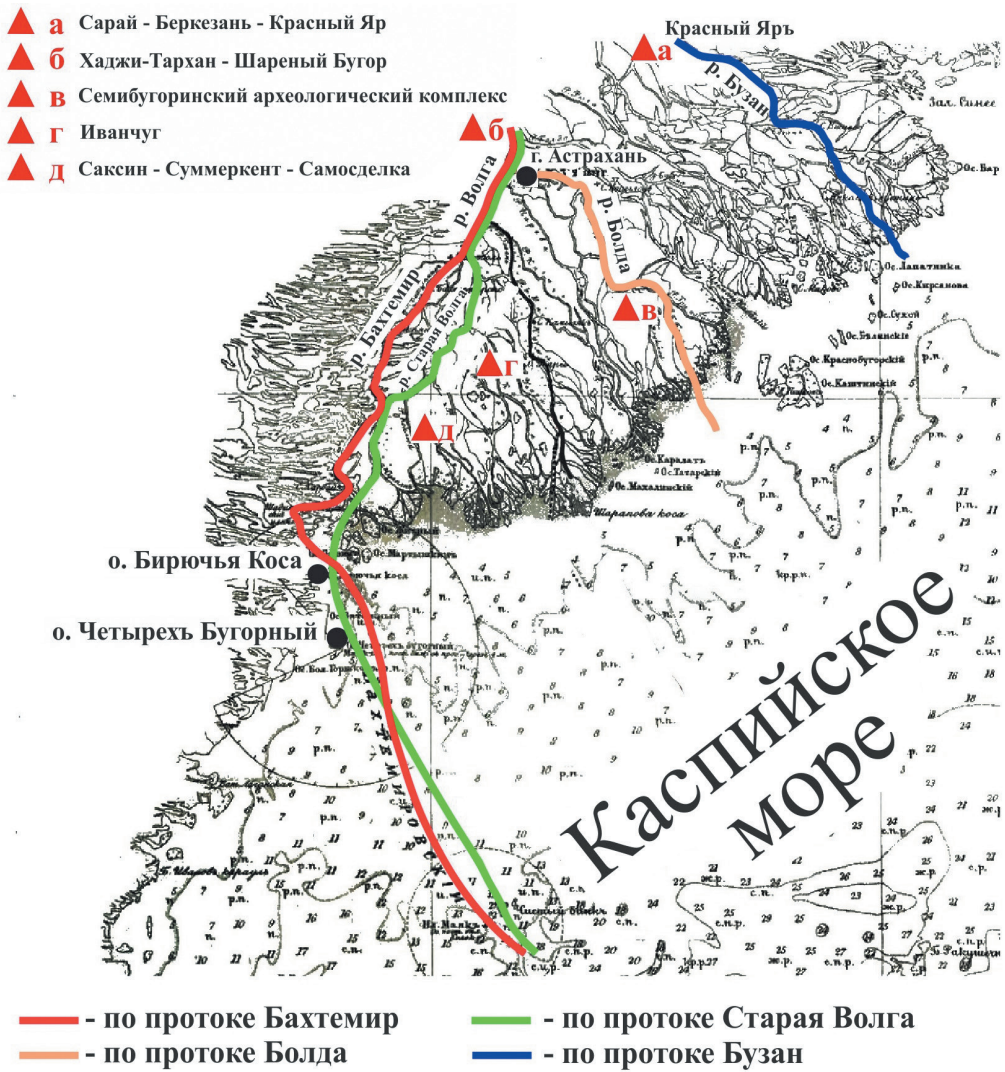


Рис. 5. Карта Каспийского моря по съемке и промеру 1861—1873 гг. с показаниями фарватера. 1873 г. [3]. Судходные маршруты IX—XIX вв. в дельте р. Волга.

Fig. 5. Map of the Caspian Sea according to the survey and sounding of 1861—1873 with fairway indications. 1873 [3]. Shipping routes of the IX—XIX centuries in the delta of the Volga.

и паузки), на которых перевозилась часть грузов. При входе судов в лабиринт дельтовых протоков первым знаковым местом на судходном маршруте по Старой Волге был Иванчуг — учуг Троицкого монастыря (впервые упомянут в Ф. Котывым в 1623 г.) (рис. 5). С середины XVI в. о. Четыре Бугра являлся ориентиром,

миновав который, мореплаватели выходили на 9-футовые глубины (впервые упомянут Э. Дженкинсоном в 1558 г.) (рис. 5). При Петре I начали строить «новома-нерные» суда по голландскому образцу с низкой осадкой, позволявшие беспрепятственно проходить перекаты Волго-Каспия. Река Бахтемир (рис. 5) до начала XIX в. в качестве судоходного маршрута в источниках не упоминается.

### Список литературы

1. Загрязняющие вещества в водах Волжско-Каспийского бассейна. Астрахань: Издатель Сорокин Роман Васильевич, 2017. 408 с.
2. Карта устья реки Волги от г. Астрахани до Каспийского моря. 1854 г. РГВИА. Ф. 420. Д. 76. Л. 110.
3. Устья Волги: Сборник материалов. СПб.: Комиссия по устройству коммерческих портов, 1895. 265 с.
4. *Заходер Б.Н.* Каспийский свод сведений о Восточной Европе. Горган и Поволжье в IX—X вв. Т. 1. М.: Наука, 1962. 279 с.
5. *Новосельцев А.П.* Хазарское государство и его роль в истории Восточной Европы и Кавказа. М.: Наука, 1990. 261 с.
6. *Джаксон Т. Н., Калинин Т. М., Коновалова И.Г., Подосинов А.В.* Русская река: Речные пути Восточной Европы в античной и средневековой географии. М.: Языки славянских культур: Знак, 2007. 360 с.
7. *Дубов И.В.* Великий Волжский путь. Л.: Изд-во ЛГУ, 1989. 255 с.
8. *Хвольсон Д.А.* Известия о хозарах, буртасах, болгарях, мадьярах, славянах и руссах Абу-Али Ахмеда бен Омара ибн Даства. СПб.: Тип. Импер. Академии наук, 1869. 200 с.
9. *Соловьев Д.С., Котеньков С.А., Тимофеев А.А., Стукалов Г.В., Коваленко А.В.* Первые результаты исследований на поселении «Семибугры» // Перекрестки истории. Актуальные проблемы исторической науки: Материалы XVII Всероссийской научной конференции (Астрахань, 21 мая 2021 г.). Астрахань: АГУ, 2021. С. 300—306.
10. *Гумилев Л.Н.* Открытие Хазарии. М.: Наука, 1966. 191 с.
11. *Рыбаков Б.А.* К вопросу о роли Хазарского каганата в истории Руси // Советская археология. 1953. Вып. XVIII. С. 130—150.
12. *Варущенко С.И., Варущенко А.Н., Клиге Р.К.* Изменение режима Каспийского моря и бессточных водоемов в палеовремене. М.: Наука, 1987. 239 с.
13. *Большаков О.Г., Монгайт А.Л.* Путешествие Абу Хамида ал-Гарнати в Восточную и Центральную Европу (1131—1153 гг.). М.: Наука, 1971. 134 с.
14. *Котеньков С.А., Котеньков И.С.* К вопросу о возникновении золотоордынских городов в Астраханском крае на территории домонгольских поселений (продолжение темы) // Перекрестки истории. Актуальные проблемы исторической науки: Материалы VIII Международной научной конференции (Астрахань, 28 апреля 2012 г.). Астрахань: Издательство ООО «ЦНТЭП», 2012. С. 62—80.
15. *Пачкалов А.В.* К вопросу об имени золотоордынского города, находившегося на месте Красноярского городища в дельте Волги // Археология Нижнего Поволжья. Проблемы, поиски, открытия: Материалы III Международной археологической конференции (Астрахань, 18—21 октября 2010 г.) Астрахань: Издательский Дом «Астраханский университет», 2010. С. 335—336.
16. *Федоров-Давыдов Г.А.* Золотоордынские города Поволжья. М.: Изд-во МГУ, 1994. 229 с.
17. *Васильев Д.В., Зиливинская Э.Д.* Новые данные к хронологии Самосдельского городища (по археологическим и археологическим материалам раскопа № 2) // Материалы V Международной конференции «Диалог городской и степной культуры на евразийском пространстве», посвященной памяти Г.А. Федорова-Давыдова (г. Астрахань, 2—6 октября 2011 г.). Астрахань: Издательский Дом «Астраханский университет». С. 70—76.
18. «Книга» Марко Поло / Пер. старо-фр. текста И.П. Минаева; ред. и вступ. статья И.П. Магидовича. М.: Географгиз, 1955. 376 с.
19. *Котеньков С.А., Бухарицин П.И., Соловьев Д.С.* Обнаружение каменного якоря в районе Кировского канала волжской дельты // Перекрестки истории. Актуальные проблемы исторической

- науки: Материалы XVII Всероссийской научной конференции (г. Астрахань, 21 мая 2021 г.). Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2021. С. 219—224.
20. Полное собрание русских летописей. Т. XIII Летописный сборник, именуемый Патриаршею или Никоновской летописью. СПб.: Типография И.Н. Скороходова, 1906. 240 с.
  21. Морской энциклопедический словарь: [в 3 т.]. Л.: Судостроение, 1991—1994. Т. 2: К—П. 1993. 584 с.
  22. *Зайцев И.В.* Астраханское ханство. М.: Восточная литература, 2004. 301 с.
  23. Хожение за три моря Афанасия Никитина 1466—1472 гг. / Ответственный редактор Я.С. Лурье. Л.: Наука, 1986. 214 с.
  24. Барбаро и Контарини о России. К истории итал.-рус. связей в XV в. Л.: Наука, 1971. 273 с.
  25. *Рандольф Т.* Путешествие Томаса Рандольфа (1568—69) // Чтения в Императорском Обществе Истории и Древностей Российских (ЧОИДР). Кн. 4. Ч. III. М., 1884. С. 234—280.
  26. *Стрейс Ян.* Три путешествия / Пер. Э. Бородиной. М.: ОГИЗ, 1935. 415 с.
  27. Записки де ла Невилля о Московии. 1689 г. // Русская старина. 1891. Т. 72. С. 241—281.
  28. *Олеарий А.* Описание путешествия в Московию / Пер. с нем. А.М. Ловягина. Смоленск: Русич, 2003. 480 с.
  29. *Witsen Nic.* Architectura Navalis et Regimen Nauticum ofte Aaloude en Hedendaegsche Scheeps-bouw en Bestier. Amsterdam: terdruk kerye van Pieteren Joan Blaeu, 1690. 347 p.
  30. *Фехнер М.В.* Торговля Русского государства со странами Востока в XVI веке. М.: Госкультпросветиздат, 1956. 122 с.
  31. Английские путешественники в Московском государстве в XVI веке / Пер. с англ. Ю.В. Готье; отв. ред. Н.Л. Рубинштейн. Л., 1937. 306 с.
  32. *Масса И.* Краткое известие о Московии в начале XVII в. М.: ОГИЗ, 1937. 208 с.
  33. *Черников И.И.* Русские речные флотилии за 1000 лет (907—1917). СПб.: Б.С.К., 1999. 122 с.
  34. Памятники дипломатических и торговых сношений Московской Руси с Персией. Т. 1. Царствовании Федора Иоанновича. СПб.: Товарищество паровой скоропечатни Явлонский и Перрот, 1890. 455 с.
  35. Россия и Европа глазами Орудж-бека Баята — Дон Жуана Персидского. СПб.: Издательство СПбГУ, 2007. 211 с.
  36. *Гусарова Е.В.* Астраханские находки: История, архитектура, градостроительство Астрахани XVI—XVIII вв. по документам из собраний Петербурга. СПб.: Нестор-История, 2009. 492 с.
  37. Хожение купца Федота Котова в Персию. М.: Изд-во вост. лит., 1958. 111 с.
  38. *Пальмов Н.* К истории рыбной промышленности в Астраханском крае в первой половине XVIII века // Наш край: Орган Астраханской губернской плановой комиссии. 1924. № 4. С. 116—117.
  39. *Шубин И.А.* Волга и волжское судоходство (История, развитие и современное состояние судоходства и судостроения). М.: Транспечать НКПС, 1927. 912 с.
  40. *Краснощеков Е., Жихарь А.* «Орел» — первенец российского флота // Моделист-конструктор. 2010. № 5. С. 25—29.
  41. Россия XVIII в. глазами иностранцев / Подготовка текста, вступительная статья и комментарии Ю.А. Лимонова. Л.: Лениздат, 1989. 544 с.
  42. *Соймонов Ф.И.* Описание Каспийского моря и чиненных за оном российских завоеваний, яко часть истории государя императора Петра Великого трудами тайнаго советника, губернатора Сибири и ордена святого Александра кавалера, Ф.И. Соймонова, выбранное из журнала его превосходительства, в бытность его службы морским офицером; и с внесенными, где потребно было, дополнениями академии наук конференц-секретаря, профессора истории и историографа, Г.Ф. Миллера. СПб.: Издательство при Имп. акад. наук, 1763. 380 с.
  43. *Торопыгин И.В.* Роль голландцев в развитии судостроения и судоходства в Волго-Каспийском бассейне в XVIII в. // Астраханские краеведческие чтения. Вып. IV. Астрахань: Издательство Сорокин Роман Васильевич, 2012. С. 114—121.

### References

1. *Zagryaznyayushchiye veshchestva v vodakh Volzhsko-Kaspiyskogo basseyna*. Pollutants in the waters of the Volga-Caspian basin. Astrakhan: Publisher: Sorokin Roman Vasilyevich, 2017: 408 p. [In Russian].

2. *Karta ust'ya reki Volgi ot g. Astrakhani do Kaspiyskogo morya. 1854 g.* Map of the mouth of the Volga River from Astrakhan to the Caspian Sea. Russian State Military Historical Archive. 420, 76: 110. [In Russian].
3. *Ust'ya Volgi: Sbornik materialov.* The mouth of the Volga: Collection of materials. St. Petersburg: Commission on the arrangement of commercial ports, 1895: 265 p. [In Russian].
4. *Zakhoder B.N. Kaspiyskiy svod svedeniy o Vostochnoy Yevrope. Gorgan i Povolzh'ye v IX—X vv. Tom 1.* Caspian collection of information about Eastern Europe. Gorgan and the Volga region in the IX—X centuries. Tom 1. Moscow: Nauka, 1962: 279 p. [In Russian].
5. *Novosel'tsev A.P. Khazaraskoye gosudarstvo i yego rol' v istorii Vostochnoy Yevropy i Kavkaza.* The Khazar state and its role in the history of Eastern Europe and the Caucasus. Moscow: Nauka, 1990: 261 p. [In Russian].
6. *Dzhakson T.N., Kalinina T.M., Konovalova I.G., Podosinov A.V. Russkaya reka: Rechnyye puti Vostochnoy Yevropy v antichnoy i srednevekovoy geografii.* Russian River: River routes of Eastern Europe in ancient and medieval geography. Moscow: Languages of Slavic cultures: Sign, 2007: 360 p. [In Russian].
7. *Dubov I.V. Velikiy Volzhskiy put'.* Great Volga way. Leningrad: Publishing house LSU, 1989: 255 p. [In Russian].
8. *Khvol'son D.A. Izvestiya o khazarakh, burtasakh, bolgarakh, mad'yarakh, slavyanakh i russakh Abu-Ali Akhmeda ben Omara ibn Dasta.* News about the Khazars, Burtases, Bulgars, Magyars, Slavs and Russians of Abu-Ali Ahmed ben Omar ibn Dast. St. Petersburg: Printing house of Imperial Academy of Sciences, 1869: 200 p. [In Russian].
9. *Solov'yov D.S., Koten'kov S.A., Timofeyev A.A., Stukalov G.V., Kovalenko A.V.* The first results of research on the settlement Semibugry: *Perekrostki istorii. Aktual'nyye problemy istoricheskoy nauki: Materialy XVII Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii (Astrakhan', 21 maya 2021 g.)*. Crossroads of history. Actual problems of historical science: Proceedings of the XVII All-Russian Scientific Conference (Astrakhan, May 21, 2021). Astrakhan: Publishing house ASU, 2021: 300—306. [In Russian].
10. *Gumilev L.N. Otkrytiye Khazarii.* Discovery of Khazaria. Moscow: Nauka, 1966: 191 p. [In Russian].
11. *Rybakov B.A.* To the question of the role of the Khazar Khaganate in the history of Russia. *Sovetskaya arkheologiya. Soviet archeology.* 1953, XVIII: 130—150. [In Russian].
12. *Varushchenko S.I., Varushchenko A.N., Klige R.K. Izmeneniye rezhima Kaspiyskogo morya i besstochnykh vodoyemov v paleovremeni.* Changes in the regime of the Caspian Sea and endorheic reservoirs in paleotime. Moscow: Nauka, 1987: 239 p. [In Russian].
13. *Bol'shakov O.G., Mongayt A.L. Puteshestviye Abu Khamida al-Garnati v Vostochnuyu i Tsentral'nuyu Yevropu (1131—1153 gg.).* Journey of Abu Hamid al-Garnati to Eastern and Central Europe (1131—1153). Moscow: Nauka, 1971: 134 p. [In Russian].
14. *Koten'kov S.A., Koten'kov I.S.* On the question of the emergence of the Golden Horde cities in the Astrakhan region on the territory of pre-Mongolian settlements (continuation of the topic): *Perekrostki istorii. Aktual'nyye problemy istoricheskoy nauki: Materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (Astrakhan, 28 aprelya 2012 g.)*. Crossroads of history. Actual problems of historical science: Proceedings of the VIII International Scientific Conference (Astrakhan, April 28, 2012). Astrakhan: Publishing house «TSNTEP», 2012: 62—80. [In Russian].
15. *Pachkalov A.V.* On the question of the name of the Golden Horde city, located on the site of the Krasnoyarsk settlement in the Volga delta: *Arkheologiya Nizhnego Povolzh'ya. Problemy, poiski, otkrytiya: Materialy III Mezhdunarodnoy arkheologicheskoy konferentsii (Astrakhan', 18—21 oktyabrya 2010 g.)*. Archeology of the Lower Volga Region. Problems, searches, discoveries: Proceedings of the III International Archaeological Conference (Astrakhan, October 18—21, 2010). Astrakhan: Publishing house ASU, 2010: 335—336. [In Russian].
16. *Fedorov-Davydov G.A. Zolotoordynskiy goroda Povolzh'ya.* Golden Horde cities of the Volga region. Moscow: Publishing House of Moscow State University 1994: 229 p. [In Russian].
17. *Vasil'yev D.V., Zilivinskaya E.D.* New data on the chronology of the Samosdelsky settlement (based on the archaeological and archaeological materials of excavation No. 2). *Materialy V Mezhdunarodnoy konferentsii «Dialog gorodskoy i stepnoy kul'tur na yevraziyskom prostranstve», posvyashchonnoy pamyati G.A. Fodorova-Davydova (Astrakhan', 2—6 oktyabrya 2011 g.)*. Proceedings of the V International Conference “Dialogue of urban and steppe cultures in the Eurasian space”, dedicated to the

- memory of G.A. Fedorova-Davydova (Astrakhan, October 2—6, 2011). Astrakhan: Publishing house ASU. 2011: 70—76. [In Russian].
18. *Kniga Marko Polo*. Book Marco Polo. Edit. by I.P. Minayeva, I.P. Magidovicha. Moskva: Geografiz, 1955: 376 p. [In Russian].
  19. *Koten'kov S.A., Bukharitsin P.I., Solov'yov D.S.* Discovery of a stone anchor in the area of the Kirov Canal of the Volga Delta. *Perekrostki istorii. Aktual'nyye problemy istoricheskoy nauki: Materialy XVII Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii (Astrakhan', 21 maya 2021 g.)*. Crossroads of History. Actual problems of historical science: Proceedings of the XVII All-Russian Scientific Conference (Astrakhan, May 21, 2021). Astrakhan: Publishing house ASU, 2021: 219—224. [In Russian].
  20. *Polnoye sobraniye russkikh letopisey. Letopisnyy sbornik, imenyemyy Patriarsheyu ili Nikonovskoy letopis'yu*. Complete collection of Russian chronicles. Chronicle collection, called the Patriarch's or Nikon Chronicle. St. Petersburg: Printing house I.N. Skorokhodova, 1906: 240 p. [In Russian].
  21. *Morskoy entsiklopedicheskiy slovar': v 3 t.* Marine Encyclopedic Dictionary: in 3 volumes. Leningrad: Shipbuilding, 1993, 2 (K—P): 584 p. [In Russian].
  22. *Zaytsev I.V. Astrakhanskoye khanstvo*. Astrakhan Khanate. Moscow: Vostochnaya literatura, 2004: 301 p. [In Russian].
  23. *Khozheniye za tri morya Afanasiya Nikitina 1466—1472 gg.* Journey beyond three seas Athanasius Nikitin 1466—1472. Edit. by Ya. S. Lurie. Leningrad: Nauka, 1986: 214 p. [In Russian].
  24. *Barbaro i Kontarini o Rossii. K istorii ital.-rus. svyazey v XV v.* Barbaro and Contarini about Russia. On the history of Italian-Russian connections in the 15th century. Leningrad: Nauka, 1971: 273 p. [In Russian].
  25. *Randol'f T.* Journey of Thomas Randolph (1568—69). *Chteniya v Imperatorskom Obshchestve Istorii i Drevnostey Rossiyskikh*. Readings in the Imperial Society of Russian History and Antiquities. 1884, 4(3): 234—280. [In Russian].
  26. *Streys Yan. Tri puteshestviya*. Three Journeys. Transl. E. Borodina. Moscow: OGIZ, 1935: 415 p. [In Russian].
  27. Notes de la Neville about Muscovy. 1689. *Russkaya starina*. Russian antiquity. 1891, 72: 241—281. [In Russian].
  28. *Oleariy A. Opisanie puteshestviya v Moskoviyu*. Description of travel to Muscovy. Transl. A.M. Loviagin. Smolensk: Rusich, 2003: 480 p. [In Russian].
  29. *Witsen Nic.* Ancient and modern shipbuilding and navigation. Amsterdam: reprint kerye by Pieteren Joan Blaeu, 1690: 347 p. [In Holland].
  30. *Fekhner M.V. Torgovlya Russkogo gosudarstva so stranami Vostoka v XVI veke*. Trade of the Russian state with the countries of the East in the XVI th century. Moscow: Goskultprosvetizdat, 1956: 122 p. [In Russian].
  31. *Angliyskiye puteshestvenniki v Moskovskom gosudarstve v XVI veke*. English travelers in the Muscovite state in the XVI century. Transl. Iu.V. Got'e, edit. N.L. Rubinshtein. Leningrad, 1937: 306 p. [In Russian].
  32. *Massa I. Kratkoye izvestiye o Moskovii v nachale XVII v.* Brief news about Muscovy at the beginning of the XVII th century. Moscow: OGIZ, 1937: 208 p. [In Russian].
  33. *Chernikov I.I. Russkiye rechnyye flotilii za 1000 let (907—1917)*. Russian river fleets for 1000 years (907—1917). St. Petersburg: B.S.K., 1999: 122 p. [In Russian].
  34. *Pamyatniki diplomaticheskikh i torgovykh snosheniy Moskovskoy Rusi s Persiyey. Tom 1. Tsarstvovaniye Fedora Ioannovicha*. Monuments of diplomatic and trade relations of Moscow Russia with Persia. Tom 1. The reign of Fyodor Ioannovich. St Petersburg: Partnership Steam Speed Printer Yavlonsky and Perrot, 1890: 455 p. [In Russian].
  35. *Rossiya i Yevropa glazami Orudzh-beka Bayata — Don Zhuana Persidskogo*. Russia and Europe through the eyes of Oruj-bek Bayat — Don Juan of Persia. St. Petersburg: SPbGU, 2007: 211 p. [In Russian].
  36. *Gusarova Ye.V. Astrakhanskiye nakhodki: Istoriya, arkhitektura, gradostroitel'stvo Astrakhani XVI—XVIII vv. po dokumentam iz sobranii Peterburga*. Astrakhan finds: History, architecture, urban planning of Astrakhan in the XVI—XVIII centuries, according to documents from the collections of St. Petersburg. St. Petersburg: Nestor-History, 2009: 492 p. [In Russian].

37. *Khozheniye kuptsa Fedota Kotova v Persiyu*. Journey of the merchant Fedot Kotov to Persia. Moscow: Publishing House of the Eastern literature, 1958: 111 p. [In Russian].
38. *Pal'mov N.* On the history of the fishing industry in the Astrakhan region in the first half of the XVIII th century. Nash kray: Organ Astrakhanskoj gubernskoy planovoy komissii. Our region: Organ of the Astrakhan provincial planning commission. 1924, 4: 116—117. [In Russian].
39. *Shubin I.A.* *Volga i volzhskoye sudokhodstvo (Istoriya, razvitiye i sovremennoye sostoyaniye sudokhodstva i sudostroyeniye)*. Volga and Volga shipping (History, development and current state of shipping and shipbuilding). Moscow: Transpechat NKPS, 1927: 912 p. [In Russian].
40. *Krasnoshchokov Ye., Zhikhar' A.* “Orel” — the first-born of the Russian flee. *Modelist-konstruktor*. Model designer. 2010, 5: 25—29. [In Russian].
41. *Rossiya XVIII v. glazami inostrantsev*. Russia XVIII century through the eyes of foreigners. Preparation of the text, introductory article and comments by Yu.A. Limonov. Leningrad: Lenizdat, 1989: 544 p. [In Russian].
42. *Soymonov F.I.* *Opisaniye Kaspiyskogo morya i chinennykh za onom rossiyskikh zavoyevaniy, yako chast' istorii gosudarya imperatora Petra Velikago trudami taynago sovetnika, gubernatora Sibiri i ordena svyatago Aleksandra kavalera, F.I. Soymonova, vybrannoye iz zhurnala yego prevoskhoditel'stva, v bytnost' yego sluzhby morskim ofitserom; i s vnesennymi, gde potrebno bylo, dopolneniyami akademii nauk konferents-sekretarya, professora istorii i istoriografa*. Description of the Caspian Sea and the Russian conquests made behind it, as part of the history of the Emperor Peter the Great by the works of the Privy Councilor, Governor of Siberia and the Order of St. Alexander the Cavalier, F.I. Soymonov, selected from His Excellency's journal, when he served as a naval officer; and with the additions made, where necessary, by the conference secretary of the Academy of Sciences, professor of history and historiographer. G.F. Miller. St. Petersburg: Imperial Academy of Sciences, 1763: 380 p. [In Russian].
43. *Toropitsyn I.V.* The role of the Dutch in the development of shipbuilding and shipping in the Volga-Caspian basin in the XVIII century. *Astrakhanskiye krayevedcheskiye chteniya: sbornik statey*. Astrakhan local history readings: collection of articles. Astrakhan: Roman Vasilievich Sorokin Publishing House, 2012, IV: 114—121. [In Russian].

### **Информация об авторах**

*Бухарицин Петр Иванович*, д-р геогр. наук, проф., ведущий сотрудник Института водных проблем РАН; старший научный сотрудник, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, astrgo@mail.ru; piter@bukharitsin.com.

*Котеньков Сергей Анатольевич*, канд. истор. наук, старший научный сотрудник, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, s\_kotenkov@mail.ru.

### **Information about authors**

*Bukharitsin Petr Ivanovich*, Doctor of Sciences (Geogr.), Prof., Leading Researcher, Water Problems Institute of RAS; Senior Researcher, Shirshov Institute of Oceanology of RAS.

*Koten'kov Sergey Anatol'yevich*, PhD (Histor. Sci.), Senior Researcher, Shirshov Institute of Oceanology of RAS, s\_kotenkov@mail.ru.

**Конфликт интересов:** конфликт интересов отсутствует.

*Статья поступила 17.04.2022.*

*Принята в печать 16.05.2022.*

*The article was received on 17.04.2022.*

*The article was accepted on 16.05.2022.*



Гидрометеорология и экология. 2022. № 67. С. 305—325.  
Hydrometeorology and Ecology. 2022; (67): 305—325.

Научная статья  
УДК [627.152.153+556.166](282.247.21)  
doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-305-323

## К созданию репрезентативного каталога наводнений Невы

*Татьяна Игоревна Малова*

Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, Москва,  
malova.ti@yandex.ru

*Аннотация.* В статье рассматривается актуальность создания репрезентативного каталога наводнений Невы. Она обусловлена тем, что сведения о наводнениях в дельте Невы представляют фундаментальный научный и большой практический интерес при изучении эволюции гидрологической системы «Ладожское озеро — река Нева — Балтийское море», вековых изменений природной среды в регионе, при уточнении стратегии защиты Санкт-Петербурга от наводнений, для петербурговедения в целом, а также для совершенствования методики комплексного обсерваторского изучения подобных природных феноменов в других регионах.

*Ключевые слова:* наводнения Невы, уровнемерные наблюдения, Кронштадтский футшток, метрология натуральных измерений, обсерваторские объекты.

*Благодарность.* Работа выполнена в рамках темы госзадания FMWE-2021-0014.

*Для цитирования:* Малова Т.И. К созданию репрезентативного каталога наводнений Невы // Гидрометеорология и экология. 2022. № 67. С. 305—325. doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-305-323.

Original article

## Representative Catalog of the Neva Floods

*Tatiana I. Malova*

Shirshov Institute of oceanology, Russian academy of sciences, Moscow, Russian Federation

*Summary.* St. Petersburg is a city with a fate inextricably linked with floods. It is necessary to study the floods of the Neva in an interdisciplinary manner. They are the phenomena, the origin and characteristics of which are the result of direct and indirect effects of natural factors, significantly different in their spatio-temporal scales. However, during the entire period of studying floods, a unified and detailed catalog of them, which would be based on representative secular series of level measurements in this region and would satisfy both practical needs and the methodological and metrological principles of fundamental observatory science, has not been created yet. To solve a complex of problems associated with the study of the Neva floods (both modern and historical), it is necessary to identify the basic principles for the formation of a representative catalog of floods. Such principles are revealed in the article. As a significant step towards the creation of a representative catalog of the Neva floods, an electronic database of the Neva floods of the 18th century, which summarizes historical and scientific material in order to recreate a complete picture of the formation and development of the flood height measurement system, is proposed. The search for information about the floods of the Neva in the 19<sup>th</sup>—21st centuries, their analysis and verification must certainly be continued from modern scientific positions and taking into account the principles outlined in this work.

*Keywords:* floods of the Neva, level measurements, Kronstadt footstock, metrology of field measurements, observatory objects.

*Acknowledgments.* The work was carried out within the framework of the state task FMWE-2021-0014.

*For citation:* Malova T.I. Representative Catalog of the Neva Floods. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2022; (67): 305—325. [In Russian]. doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-305-323.

## Введение

Санкт-Петербург — город, судьба которого неразрывно связана с наводнениями. Это природное явление вызывало и всегда будет вызывать не только научный интерес, но и живой эмоциональный отклик. Мощные наводнения Невы на протяжении практически всей истории города играли столь заметную в ней роль, что давно уже стали в буквальном смысле легендой Санкт-Петербурга и, как всякие легенды, обросли слоями тех исторических «отложений», когда реалии и домыслы уже почти неотделимы друг от друга.

С другой стороны, исследование природных катастроф, включая, разумеется, те из них, которые непосредственно связаны с морем и его воздействием на береговые ландшафты, — одно из наиболее актуальных направлений в области современной геофизики, географии и смежных наук. И поскольку многие из таких катастроф для конкретных прибрежных районов обладают определенной повторяемостью на различных временных масштабах, то корректная историческая реконструкция их данных — отдельная и важная научная задача, обладающая очевидной практической значимостью.

Исследовать наводнения Невы необходимо междисциплинарно. Они представляют собой феномен, происхождение и характеристики которого есть результат прямых и косвенных воздействий природных факторов, существенно различных по своим пространственно-временным масштабам. По всей видимости, устье р. Невы и прилегающая к нему акватория Финского залива оказались тем самым «роковым» местом, в котором рассмотренные факторы способны усиливать друг друга и приводить к столь большим (иногда катастрофическим) ветровым нагонам в пределах городской черты.

Цель настоящей работы — обосновать необходимость создания современно-го репрезентативного каталога исторических наводнений Невы (и базы данных наводнений Невы как составной его части), который удовлетворял бы требованиям изучения данного природного феномена как комплексной научной проблемы.

## Материалы и методика исследований

В 1981—1988 гг. в связи с необходимостью решения начального этапа общегосударственной проблемы Кронштадтского футштока, строительством его Шепелевского дублера и сооружением глубинных скважинных реперных систем были разработаны предложения о создании Ленинградского (Санкт-Петербургского) геодинамического полигона. Эти работы проводились в рамках Международной программы «Recent Crustal Movements» Международного союза геодезии и геофизики. Одновременно встал вопрос о поиске и анализе сохранившихся

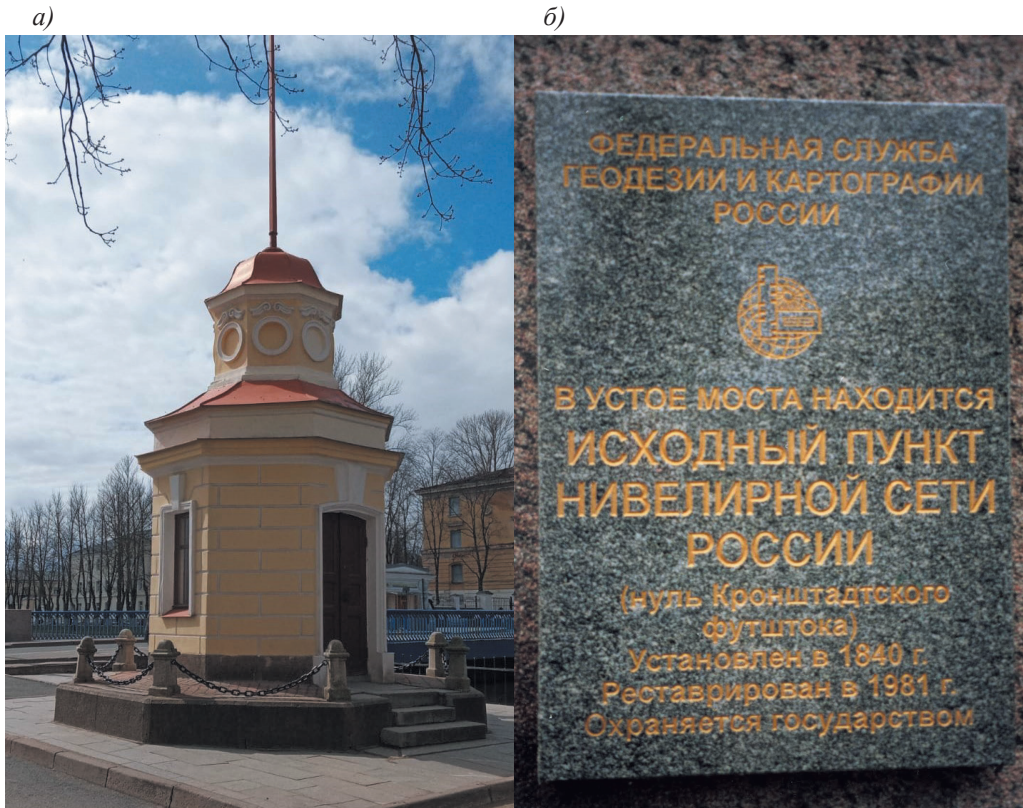


Рис. 1. Кронштадтский футшток:

а) павильон мареографа; б) памятная каменная плита.

Fig. 1. Kronstadt footstock:

a) tide-gauge pavilion; б) memorial stone slab.

материалов, которые можно было бы использовать при изучении современных движений земной коры и при реставрации высот равномерных наблюдений.

Последние предложения касались, прежде всего, сохранения уникального равномерного ряда на Кронштадтском футштоке и его продолжения на Шепелевском дублере, введенном в эксплуатацию в 1988 г. Также актуально было выяснить состояние Таллинского (Ревельского) и Валаамского футштоков, сети наскальных меток ординаров Финского залива, центральной части Балтийского моря и Ладожского озера (созданной отечественными военными гидрографами к середине XIX — началу XX в.), а также меток высот и сведений об исторических наводнениях Невы в Санкт-Петербурге и его пригородах. С этими целями были предприняты обширные архивные, библиотечные и натурные поиски [1].

Кронштадтский футшток (рис. 1) — старейший в России обсерваторский объект равномерных и гидрометеорологических наблюдений, начатых по

инициативе Петра I в 1707 г., но обнаруженных лишь начиная с 1777 г. (рис. 2). В настоящее время Кронштадтский футшток — третий в мировом перечне объект с самыми продолжительными из сохранившихся рядов наблюдений за уровнями морей после Амстердамского (с 1700 г.) и Стокгольмского (с 1774 г.). Его нуль-пункт был принят за исходный пункт Государственной нивелирной сети и начало Балтийской системы (БС) высот [2].

Работы по решению проблемы Кронштадского футштока были инициированы в 1981 г., когда выяснилось, что в результате строительства комплекса сооружений защиты Ленинграда от наводнений футшток окажется внутри ограждаемой

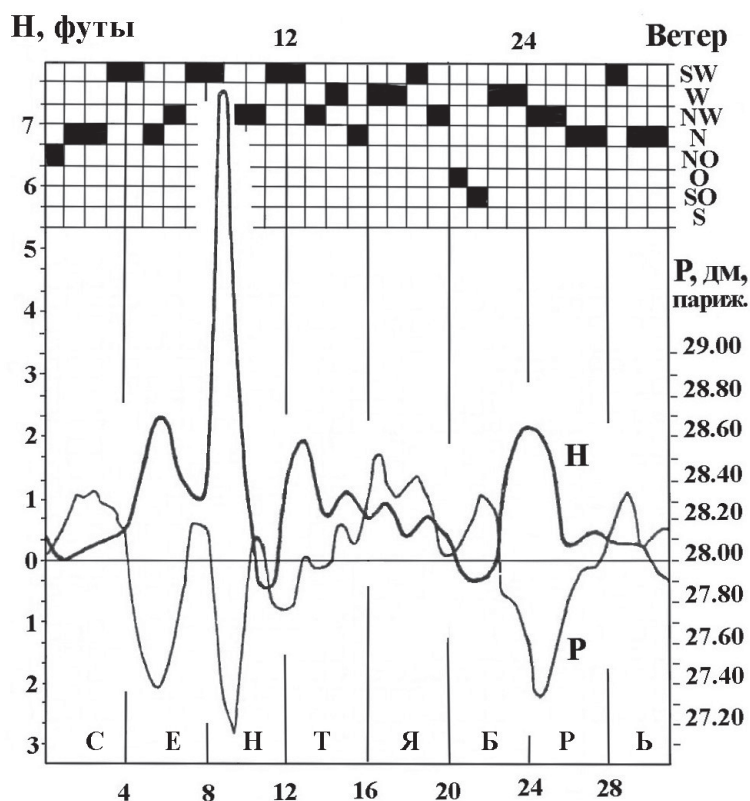


Рис. 2. Кронштадтский футшток. Графики изменения основных метеорологических параметров «до», «во время» и «после» катастрофического наводнения Невы 10 (21) сентября 1777 г.:

Н — высота уровня моря в футовой мере; Р — атмосферное давление, в парижских дюймах; изменение направления ветра, в румбах.

Fig. 2. Kronstadt footstock. Graphs of changes in the main meteorological parameters «before», «during» and «after» the catastrophic flood of the Neva on September 10 (21), 1777:

Н — sea level in feet; Р — atmospheric pressure, in Paris inches; change in wind direction, in points.

акватории. В результате были построены Шепелевский дублер — современный морской геодинамический комплекс, три глубинные скважинные реперные системы в Кронштадте, Ломоносове и Шепелеве (для фундаментального векового закрепления высот нулей футштоков и мареографов и изучения послонных деформаций осадочных пород), три наблюдательные гидрогеологические скважины в Шепелеве (для изучения колебаний горизонтов артезианских вод). С 1992 г. проводилась работа по подготовке к включению объектов Санкт-Петербургского геодинамического полигона в международный проект GLOSS и в GPS-геодезический проект «Baltic Sea Level Project». Были начаты исследования по реставрации Кронштадтского, Шепелевского и Валаамского равномерных рядов, был организован поиск сведений о повторных измерениях высот ординаров (в Балтийском море, Финском заливе и Ладожском озере) и о высотах исторических, в том числе катастрофических, наводнений Невы [2]. Актуальность этих исследований определялась большим вниманием, уделяемым проблемам наводнений Невы с позиций инструментального обеспечения исследований эволюции природных процессов на вековых интервалах.

### **Характеристика искажений сведений о наводнениях Невы**

Сведения о наводнениях в дельте Невы представляют фундаментальный научный и большой практический интерес при изучении эволюции гидрологической системы «Ладожское озеро — река Нева — Балтийское море», вековых изменений природной среды в регионе, при уточнении стратегии защиты Санкт-Петербурга от наводнений, для петербурговедения в целом, а также для совершенствования методики комплексного обсерваторского изучения подобных природных феноменов в других регионах.

На протяжении более трех столетий эти сведения представляли и продолжают представлять жизненно важный, социальный, хозяйственный и военно-политический государственный интерес. С введением в эксплуатацию Комплекса защитных сооружений проблема прогноза приобрела особое значение в связи с необходимостью обеспечения их помехоустойчивой эксплуатации.

Построение прогностических моделей, целесообразность строительства новых гидротехнических сооружений, планирование инженерно-хозяйственной, природоохранной и общественно-культурной деятельности невозможны без комплексного анализа сведений о наводнениях Невы. К сожалению, имеющиеся в распоряжении исследователей официальные перечни и каталоги недостаточно информативны и изобилуют искажениями, несовместимыми с официальными сведениями [1, 3—5].

На протяжении XVIII—XX вв. метки наводнений служили эталонной шкалой в научных и прикладных исследованиях, являлись гидрографическими и геодезическими реперами, использовались в просветительских целях. Неизменность их высотного положения контролировалась в разное время организациями Академии наук, Военно-морского ведомства, Геодезической и Гидрометеорологической службами. Однако за все время изучения наводнений так и не был создан

унифицированный и подробный их каталог, который опирался бы на репрезентативные вековые ряды равномерных наблюдений в этом регионе и удовлетворял как практическим нуждам, так и методологическим и метрологическим принципам фундаментальной обсерваторской науки. Такое положение, с учетом становления научных исследований в России в первой половине XVIII в. и идеологических особенностей развития науки в XX в., вполне объяснимо. Но как объяснить нынешнее разительное снижение требований к изучению феномена наводнений по сравнению с изначальными подходами, связанными с именами таких выдающихся членов Петербургской академии наук, как академики И.Г. Лейтман, М.В. Ломоносов, Г.В. Крафт, В.Л. Крафт, Л. Эйлер? Не была также предпринята попытка реставрации высот исторических наводнений Невы.

Кратко перечислим основные очевидные недостатки существующих перечней наводнений Невы:

1) Распространение систем отсчета высот невиский наводнений (от ординара равномерного поста «Горный институт», введенного в эксплуатацию в 1878 г., или от начала Балтийской системы высот, введенной в практику геодезических, топографических и гидрографических работ в 1946 г.) на все предшествовавшее время изучения наводнений Невы. Это аналогично постулированию полного отсутствия на вековых интервалах (более 300 лет) изменений высотного положения локальных ординаров Финского залива, Невы и Ладожского озера.

2) Принятие единой точности «измерений» ( $\pm 1$  см) неизмеренным высотам наводнений или измеренным с разной точностью в футшточный и в мареографный периоды наблюдений, что не соответствует действительности.

3) Классификация наводнений Невы на «опасные» (при подъеме воды над ординаром «Горный институт» на 161—210 см), «особо опасные» (211—299 см) и «катастрофические» (300 см и выше), которая была принята в 1980 г. администрацией Ленинграда. Некорректно распространять эти градации на эпоху раннего Санкт-Петербурга, когда низменную территорию города затопляли даже незначительные с позиций 1980 г. наводнения.

4) Высоты наводнений, представленные в существующих официальных перечнях относительно нуля Кронштадтского футштока на основе нивелирных связей его с материком, с Санкт-Петербургом и с рабочим репером равномерного поста «Горный институт», требуют верификации стабильности самого нуля за период отнесения к нему вековых наблюдений за наводнениями Невы.

5) Выявлено огромное число описок и искажений сведений о наводнениях Невы, максимум которых приходится на годы после наводнения 1924 г., когда на основании необоснованных гипотез были полностью разрушены и искажены:

— ряд наводнений Невы 1721—1729 гг. И.Г. Лейтмана, опубликованный в совместной статье с Л. Эйлером (1729 г.);

— ряд Э.И. Шретера по футштоку, установленному на р. Мойке в 840 футах к востоку от Синего моста, за период с 1749 по 1777 гг.

Кроме того, было «обосновано» существование мифического Петропавловского футштока, а В.Л. Крафт обвинен в искажении высоты наводнения 1777 г. и т.д. Все это изложено в двух публикациях 1932 г. А.И. Мордухая-Болтовского,

что, безусловно, связано с деятельностью Особой комиссии по расследованию полностью неоправдавшегося «преступного» прогноза катастрофического наводнения 1924 г. Тем не менее, в послевоенные годы все основные ошибки А.И. Мордухая-Болтовского были сохранены, воспроизведены, и продолжают тиражироваться в XXI в. [6—8].

Для решения комплекса проблем, связанных с изучением наводнений Невы (как современных, так и исторических), необходимо выявить основные принципы формирования репрезентативного каталога наводнений. Прежде всего, он должен опираться на репрезентативные вековые ряды равномерных наблюдений и удовлетворять методологическим и метрологическим принципам фундаментальной науки. Существующие перечни — В.Л. Крафта (1780 г.), П.П. Каратыгина (1889 г.), М.А. Рыкачева (1898 г.), А.И. Мордухая-Болтовского (1932 г.), М.С. Грушевского и Н.Н. Лазаренко (1957 г.), Р.А. Нежиховского (1988 г.) и К.С. Померанца (1998, 2004, 2005 гг. и др.) — этим требованиям не удовлетворяют.

Принципы построения репрезентативного каталога наводнений Невы, опробованные на материалах наблюдений за уровнем моря на Кронштадтском футажке [2], могут быть сведены к следующим:

- 1) комплексный методологический подход к решению проблемы;
- 2) безусловный приоритет первоисточников;
- 3) отказ от «исправлений» рядов и сведений *post factum*;
- 4) каталогизация описок и расхождений версий за все время наблюдений;
- 5) публикация всех без исключения сохранившихся версий и материалов;
- 6) разработка и внедрение в практику унифицированной программы оценки однородности, долговременной точности и репрезентативности вековых рядов;
- 7) поиск новых сведений об равномерных наблюдениях.

Однако, применительно к задаче формирования каталога наводнений Невы, необходимо дополнительно учитывать, что имеющиеся практически все материалы и сведения XVIII в. и допетровского времени, а также те из них, которые были получены в ходе наблюдений во время многих сильных и катастрофических наводнений (например, во время наблюдений 1824 и 1924 гг.), либо утрачены, либо местонахождение их, вплоть до настоящего времени, неизвестно. При этом сохранившиеся материалы:

- 1) фрагментарны, неполны и противоречивы;
- 2) содержат обилие эмоциональных характеристик, а также не охарактеризованы описаниями методики наблюдений и изменений местных условий;
- 3) получены из наблюдений в различных пунктах, удаленных друг от друга иногда на несколько километров;
- 4) представлены измерениями в различных неоднородных системах отсчета (от локальных ординаров, от несохранившихся условных отметок и высот реперов разных эпох), изменяющихся во времени и пространстве;
- 5) не учитывают природных и антропогенных деформаций земной поверхности, достигающих на интервалах первых сотен лет значений, существенно превышающих постулируемую точность равномерных наблюдений;

6) искажены различного рода «поправками» и «коррекциями», в частности, за счет «исправления» первичных материалов;

7) деформированы при экстраполяции более поздних или даже современной Балтийской системы высот на десятки и сотни лет назад;

8) не охарактеризованы, как архивные документы, источниковедческой экспертизой.

### Примеры разночтений между сведениями о наводнениях Невы

В качестве примеров разночтений в характеристиках наводнений Невы приведем несколько показательных случаев. Ниже демонстрируются таблицы со значениями максимального подъема воды во время трех катастрофических наводнений Невы: 10 (21) сентября 1777 г., 7 (19) ноября 1824 г. и 23 сентября 1924 г. (таблицы 1—3).

Таблица 1

Сведения о ветре и максимальной высоте наводнения Невы 10 (21) сентября 1777 г.

Information about the wind and the maximum height of the Neva flood  
on September 10 (21), 1777

Автор, год завершения рукописи или публикации сведений, ссылки на источники	Ветер	$H_{\text{ОАФ}}$ , ф.д. = см	$H_{\text{ОРМ}}$ , ф.д. = см	$H_{\text{ОГИ}}$ , см	$H_{\text{НКФ}}$ , см БС
<i>И.Г. Чернышев</i> , 1777 г., <i>Екатерина II</i> [9]	—	10'6" = 320	Английская футовая мера		
<i>Э.И. Шретер</i> , 1780, 1795 гг. [10—11]	ЮЗ	—	10'7" = 323	—	—
<i>Ф.В. Бауер</i> , 1779 г. [12—13]	—	10'3" = 333	Французская футовая мера		
<i>В.Л. Крафт</i> , 1780, 1795 гг. [10—11]	ЮЗ	—	10'7" = 323	—	—
<i>И.Г. Георги</i> , 1790, 1794 гг. [14—15]	ЮЗ	10'7" = 323	—	—	—
<i>У. Тооке</i> , 1799 г. [16]	ЮЗ	>10' => 305	—	—	—
<i>В.Н. Берх</i> , 1826 г. [9]	ЮЗ	10'7" = 323	—	—	—
<i>С.И. Аллер</i> , 1826 г. [17]	ЮЗ	10'6" = 320	—	—	—
<i>П.П. Каратыгин</i> , 1889 г. [18]	ЮЗ	10'6" = 320	—	—	—
<i>М.А. Рыкачев</i> , 1898 г. [19]	ЮЗ	10'7" = 323	—	—	—
<i>А.И. Мордухай-Болтовской</i> , 1932 г. [6]	—	10'7" = 323	—	310	323
<i>Д.О. Святский</i> , 1933 г. [20]	—	10'7" = 323	—	310	—
<i>М.С. Грушевский, Н.Н. Лазаренко</i> , 1957 г. [21]	—	—	—	310	—
<i>Р.А. Нежиховский</i> , 1988 г. [22]	—	—	—	—	321
<i>К.С. Померанец</i> , 1998—2009 гг. [23—27]	—	10'7" = 323	—	—	321

#### Примечания:

1) Аббревиатура «ф.д.» означает «футы, дюймы».

2) Используются системы отсчета высот от ординаров: ОАФ — Адмиралтейского футштока; ОРМ — на р. Мойке; ОГИ — у Горного института; НКФ — от нуля Кронштадтского футштока и в Балтийской системе высот (БС).

Обращает на себя внимание обилие разночтений высот наводнения в диапазоне почти 1 фута (305—333 см); отсутствие обоснования замены первоначального значения высоты  $H_{\text{ОАФ}} = 10'6"$ , измеренной в Адмиралтействе и представленной



Екатерине II графом И.Г. Чернышевым, на  $H_{\text{ОРМ}} = 10'7''$ , по наблюдениям Э.И. Шрелера на р. Мойке; игнорирование каких-либо поправок к наблюдениям  $H_{\text{ОАФ}}$  или к «отнесенным» к ним (без достаточно серьезных оснований) измерений  $H_{\text{ОРМ}}$ , при редуцировании этих значений к НКФ или к Балтийской системе высот; ни в одной из приведенных ссылок не используется высота  $10'3''$ , оцененная Ф.В. Бауером во французской футовой мере (333 см).

Таблица 2

Сведения о высоте наводнения Невы 7 (19) ноября 1824 г.

Information about the height of the flood of the Neva on November 7 (19), 1824

Автор или источник, год публикации, ссылка	$H_{\text{ОАФ}}$		$H_{\text{ППК}}$		$H_{\text{ОГИ}}$	$H_{\text{НКФ}} = H_{\text{БС}}$	
	ф.д.	см	ф.д.	см	см	ф.д.	см
<i>СПб. ведомости</i> , 1824 г. [28]	11'10,5"	362	—	—	—	—	—
<i>Елизавета Алексеевна</i> , 1824 г. [29]	на 2" (5 см) выше наводнения 1777 г.						
<i>В.Н. Берх</i> , 1824 г. [9]	13'04"	406	—	—	—	11'6"	350,5
<i>Отечественные записки</i> , 1825 г. [30]	11'10,5"	362	—	—	—	—	—
<i>Тобизен</i> , астроном, 1824 г. [31]	—	—	—	—	—	11'6"	350,5
<i>А.Е. Колодкин</i> , 1825 г. [9]	13'07"	414	—	—	—	—	—
<i>С.И. Аллер</i> , 1826 г. [17]	11'10,5"	362	12'10"	—	—	—	—
<i>В.Н. Берх</i> , 1826 г. [9]	13'07"	414	—	—	—	—	—
Таблицы к статистическим..., 1836 г. [32]	13'07"	414	—	—	—	—	—
<i>И.И. Пушкарев</i> , 1839 г. [33]	≥13'	≥396	—	—	—	—	—
Летопись Петропавловской..., 1879 г. [34]	—	—	12' 04"	376	—	—	—
<i>К. Головизнин</i> , 1881 г. [35]	—	—	—	—	—	11.5'	350,5
<i>М.А. Рыкачев</i> , 1898 г. [19]	13'07"	414	—	—	—	—	—
<i>М.И. Алтухов</i> , 1899 г. [36]	от 11'11" (363 см) до 14'6" (442 см)						
<i>А.И. Мордухай-Болтовской</i> , 1932 г. [6]	—	—	—	—	375	—	—
<i>Е.И. Тихомиров</i> , 1932 г. [37]	11'10,5"	362	—	—	—	—	—
<i>Д.О. Святский</i> , 1933 г. [20]	—	—	—	—	375	—	—
<i>А.И. Мордухай-Болтовской</i> , 1934 г. [6]	—	—	—	—	375	—	—
<i>М.С. Грушевский, Н.Н. Лазаренко</i> , 1957 г. [21]	—	—	—	—	375	—	—
<i>Р.А. Нежиховский</i> , 1988 г. [22]	—	—	—	—	—	—	421,0
<i>К.С. Померанец</i> , 1998—2009 гг. [23—27]	—	—	—	—	—	—	421,0

Примечания:

- 1)  $H_{\text{ППК}}$  — высоты ансамбля меток наводнений, закрепленные на западной стене Невских ворот Петропавловской крепости.
- 2) Известны свидетельства о сопоставимости высот наводнений 1777 и 1824 гг. и даже, по словам очевидцев, двух потоков, о превышении максимальной высоты первого над аналогичной высотой второго.

Значение 13-футовой высоты наводнения ( $13'4'' = 406$  см) впервые было опубликовано В.Н. Берхом в 1824 г. Как следует из «Отечественных записок» 1825 г., такая высота наблюдалась в Галерной гавани, а не в Главном Адмиралтействе. Как следует из публикаций В.Н. Берха, П.П. Каратыгина, М.И. Алтухова, Е.И. Тихомирова и А.И. Мордухая-Болтовского, «новая» высота в Адмиралтействе была

получена в результате фиксации уровня в Петропавловской крепости, с последующей «гидростатической» оценкой этого наводнения в Адмиралтействе, выполненной А.Е. Колодкиным (с учетом высот меток наводнения 1777 и 1824 гг.). В результате был изменен исходный уровень системы отсчета на главном уровнемерном футштоке города в Адмиралтействе. Причем высота метки наводнения 1824 г. в Петропавловской крепости была принята равной 12 футам 10 дюймам, тогда как в «Летописи Петропавловской крепости» указана высота 12 футов 4 дюйма. Согласно А.А. Каминскому, сопоставление высот меток наводнений 1824 и 1924 гг. «заставляет предположить, что зафиксированные в 1824 г. высоты в большинстве случаев преувеличены».

Таблица 3

Сведения о высоте наводнения Невы в Ленинграде 23 сентября 1924 г.  
Information about the height of the Neva flood in Leningrad on September 23, 1924

Автор, источник	Н <sub>ПНК</sub>		Н <sub>Оги</sub>		Н <sub>НКФ</sub> =Н <sub>БС</sub>	
	ф.д.	см	ф.д.	см	футы	см
<i>Д.О. Святский</i> , 1924 г. [20], Н <sub>начальное</sub>	12'5"	378	11'7"	353	—	—
<i>Д.О. Святский</i> , 1924 г. [20], Н <sub>согласованное</sub>	—	—	12'2"	371	—	—
<i>В.В. Чеботарев</i> , 1924 г. [38]	—	—	12'7"	384	—	—
<i>Е.В. Мальченко</i> , 1925 г. [39]	—	—	12'1,2"	369	—	—
<i>А.И. Мацейно</i> , 1925 г. [40]	—	—	12'1,5"	370	—	—
Ленинград в борьбе с ... , 1925 г. [41]	—	—	(12')	(365)	—	—
<i>Э.И. Пуйше</i> , 1925 г. [42]	—	—	12'1,2"	(368)	—	—
<i>А.А. Каминский</i> , 1925 г. [43]	—	—	12'1,5"	370	—	—
<i>Э.И. Пуйше</i> , 1926 г. [42]	—	—	12'1"	368	—	—
<i>В.А. Берг</i> , 1929 г. [44]	—	—	~12'	~366	—	—
<i>А.И. Мордухай-Болтовской</i> , 1932 г. [6]	11'75"	358	—	—	—	—
<i>А.И. Мордухай-Болтовской</i> , 1932 г. [6]	—	—	12,07'	368	12.5'	381
<i>Д.О. Святский</i> , 1933 г. [20]	—	—	12'2"	(369)	—	—
<i>А.И. Мордухай-Болтовской</i> , 1934 г. [6]	—	—	—	(369)	—	—
<i>М.С. Грушевский, Н.Н. Лазаренко</i> , 1957 г. [21]	—	—	—	(369)	—	—
<i>А.С. Кожевников</i> , 1968 г. [45]	11'8"	356	—	—	—	—
<i>И.Н. Бенуа</i> , 1980 г. [46]	11'8"	369	—	—	—	—
<i>Р.А. Нежиховский</i> , 1988 г. [22]	—	—	—	(369)	—	380
<i>К.С. Померанец</i> , 1998–2009 гг. [23—27]	—	—	—	(369)	—	380

Примечание:

В круглые скобки заключены неточные сведения о высотах в метрической системе или в результате описок, или при использовании разных коэффициентов перевода высот из футовой в метрическую систему.

Значение 12 футов 5 дюймов было обозначено, согласно Д.О. Святскому, карандашной меткой в Петропавловской крепости уже 24 сентября 1924 г. А.С. Кожевников и И.Н. Бенуа указывают высоту, равную 11 футам 8 дюймам (во втором случае — описка при переводе в метрическую систему). Д.О. Святский отметил,

что во время наводнения «лимниграф Главной геофизической обсерватории был испорчен и не мог правильно работать». Сотрудники ГГО вынуждены были прибегнуть к несовершенному способу определения уровня снегомерными рейками: первоначальная  $H_{\text{ОГИ}} = 11'7''$ , затем было исправлена на «согласованное» значение  $H_{\text{ОГИ}} = 12 \text{ ф. } 2 \text{ д.}$

Оценка высоты наводнения 1924 г. (369 см над ОГИ), полученная А.И. Мордухаем-Болтовским, фигурирует во всех последующих перечнях до 1988 г., однако это значение лишь на 2 дюйма меньше его же оценки высоты наводнения 1824 г. В дальнейшем Р.А. Нежиховский в 1988 г. и его последователи в 1998—2009 гг., оставив неизменной 12-футовую высоту наводнения для 1924 г., возвратились к 13-футовой высоте наводнения 1824 г.

Отметим, что именно с наводнением 23 сентября 1924 г. связано решение вопроса о немедленном введении в Ленинграде и губернии метрической системы мер.

### База данных наводнений Невы XVIII в.

В качестве существенного шага к созданию репрезентативного каталога наводнений Невы предлагается электронная база данных наводнений Невы XVIII в., обобщающая историко-научный материал с целью воссоздания целостной картины становления и развития системы измерения высот наводнений. С точки зрения анализа предметной области, база данных обеспечивает систематизацию данных об исторических наводнениях Невы XVIII в., дает комплексное представление о каждом конкретном рассматриваемом эпизоде с качественной и количественной точки зрения, позволяет осуществлять поиск информации по:

- дате (в разных системах летосчисления);
- высоте подъема воды относительно разных ординаров (в разных системах счета высот);
- автору описания наводнения (при его наличии), ссылке на библиографический источник (опубликованный или архивный) [1, 47].

С точки зрения функциональных возможностей, использование электронной базы данных позволяет визуально оценивать искаженные ряды наводнений и верифицировать сведения о них путем сравнения различных данных.

В базе данных отражены следующие атрибуты наводнений Невы XVIII в.:

- 1) год наводнения;
- 2) автор описания;
- 3) дата наводнения (Юлианская система);
- 4) дата наводнения (Григорианская система);
- 5) ветер (в случае наличия информации);
- 6) высота, указываемая в источниках:
  - качественная оценка,
  - высота, указываемая в источниках (футы и дюймы, см),
  - высота от ординара реки Мойки (футы и дюймы, см),
  - высота от ординара Адмиралтейского футштока (футы и дюймы в английской и французской мерах, см),

- высота от ординара Невы у Горного института (см),
- высота в Балтийской системе высот (футы и дюймы, см);
- 7) ссылка на библиографический источник.

Фрагменты электронной базы данных исторических наводнений Невы представлены на рисунках 3 и 4. Рис. 3 демонстрирует выкопировку из базы с событиями 1703, 1705—1707 гг., а рис. 4 — комплекс данных, касающихся катастрофического наводнения 10 (21) сентября 1777 г.

Большое количество полей содержит примечания, необходимость размещения которых определяется спецификой формирования базы данных (на основе исторических изысканий, анализа архивных документов, сопоставления различных, зачастую противоречивых, источников).

База данных содержит 856 строк и охватывает исторические наводнения Невы за 1703, 1705—1707, 1710, 1715—1718, 1721, 1723—1738, 1740—1741, 1743—1744, 1747, 1749, 1751—1752, 1754, 1756—1760, 1762—1768, 1771—1778, 1781, 1788, 1794, 1797, 1799 гг. Таким образом, информационно охваченными

ГОД	АВТОР	ДАТА (ЮЛИАНСКАЯ СИСТЕМА)	ДАТА (ГРИГОРИАНСКАЯ СИСТЕМА)	ВЫСОТА, УКАЗЫВАЕМАЯ В ИСТОЧНИКАХ (ФУТЫ, ДЮЙМЫ)	ВЫСОТА, УКАЗЫВАЕМАЯ В ИСТОЧНИКАХ (СМ)	ВЫСОТА ОТ ОРДИНАРА НЕВЫ У ГОРНОГО ИНСТИТУТА (СМ)	ВЫСОТА В БАЛТИЙСКОЙ СИСТЕМЕ ВЫСОТ (СМ)	ССЫЛКА
1703	А.И. Репин	19-20 августа	30-31 августа					Бесплятых Ю.Н., Суханев Н.Л. Первые в
1703	О.А. Плейер	лето – осень						Бесплятых Ю.Н. Новая столица. Петерб
1703	П.И. Петров	19-20 августа	30-31 августа					Петров П.И. История Санкт-Петербурга
1703	М.А. Рыкачев	19-20 августа	30-31 августа	>78	>213			Рыкачев М.А. О наводнениях в С.-Пете
1703	Д.О. Светский	19-20 августа	30-31 августа	>78	>215			Светский Д.О. Наводнения в устье рек
1703	М.С. Грушецкий, Н.Н. Лазаренко	20 августа	31 августа			200		Грушецкий М.С., Лазаренко Н.Н. Итух
1703	Р.А. Нежиговский	20 августа	31 августа				211	Нежиговский Р.А. Вопросы гидрологи
1703	К.С. Померанец	20 августа	31 августа				211	Померанец К.С. Дополнение и уточне
1705	Николай Петра I	4 октября	15 октября					Полудный журнал 1705 года. СПб., 185
1705	И.И. Яковлев	5 октября	16 октября					Материалы для истории русского флота
1705	М.А. Рыкачев	4-5 октября	15-16 октября	>5ф	>152			Рыкачев М.А. О наводнениях в С.-Пете
1705	П.И. Столпнянский	5 октября						Бесплятых Ю.Н. Новая столица. Петерб
1705	Д.О. Светский	18 июля	29 июля					Светский Д.О. Наводнения в устье рек
1705	Д.О. Светский	4-5 октября	15-16 октября	>5ф	>150			Светский Д.О. Наводнения в устье рек
1705	М.С. Грушецкий, Н.Н. Лазаренко	5 октября	16 октября			150		Грушецкий М.С., Лазаренко Н.Н. Итух
1705	Р.А. Нежиговский	4-5 октября	15-16 октября				161	Нежиговский Р.А. Вопросы гидрологи
1705	К.С. Померанец	5 октября	16 октября				161	Померанец К.С. Дополнение и уточне
1707	Николай Петра I	3-4 декабря	14-15 декабря					Полудный журнал 1707 года. СПб., 185
1707	Ф.М. Силев	3-4 декабря	14-15 декабря					Бесплятых Ю.Н. Новая столица. Петерб
1707	Ф.М. Силев	5 декабря	16 декабря					Бесплятых Ю.Н. Новая столица. Петерб

Рис. 3. Фрагмент базы данных с событиями 1703 и 1705—1707 гг.

Fig. 3. Fragment of the database with the events of 1703 and 1705—1707.

ГОД	АВТОР	ДАТА (ЮЛИАНСКАЯ СИСТЕМА)	ДАТА (ГРИГОРИАНСКАЯ СИСТЕМА)	ВЫСОТА ОТ ОРДИНАРА РЕКИ МОЙНЫ (ФУТЫ, ДЮЙМЫ)	ВЫСОТА ОТ ОРДИНАРА РЕКИ МОЙНЫ (СМ)	ВЫСОТА ОТ ОРДИНАРА НЕВЫ У ГОРНОГО ИНСТИТУТА (СМ)	ВЫСОТА В БАЛТИЙСКОЙ СИСТЕМЕ ВЫСОТ (ФУТЫ, ДЮЙМЫ)	ВЫСОТА В БАЛТИЙСКОЙ СИСТЕМЕ ВЫСОТ (СМ)	ССЫЛКА
1777	Ф.В. Бауер	10 сентября	21 сентября	10ф 3д	333				Бауер Ф.В. Навелия
1777	В.Л. Крафт	16 августа	27 августа	5ф 0д	152				Krafft W.L. Notices e
1777	В.Л. Крафт	9-10 сентября	20-21 сентября	10ф 7д	323				Krafft W.L. Notices e
1777	В.Л. Крафт	25 сентября	6 октября	4ф 10д	147				Krafft W.L. Notices e
1777	В.Л. Крафт	17 сентября	28 сентября	6ф 0д	183				Krafft W.L. Notices e
1777	И.Г. Георги	10 сентября	21 сентября	10ф 7д	323				(Georgi I.G.), Ventski
1777	И.Г. Георги	7 октября	18 октября	6ф 0д	183				(Georgi I.G.), Ventski
1777	В.Н. Берг	10 сентября	21 сентября	10ф 7д	323				Берг В.Н. Подорожи
1777	С.И. Аллер	10 сентября	21 сентября	4ф 10д	147				Аллер С.И. Описание
1777	С.И. Аллер	7 октября	18 октября	6ф	183				Аллер С.И. Описание
1777	Статистические таблицы	10 сентября	21 сентября	10ф 7д	323				Таблицы к статистик
1777	Статистические таблицы	7 октября	18 октября	6ф 0д	183				Таблицы к статистик
1777	И.И. Пущанов	17 сентября	28 сентября	3-10ф	124				Пущанов И.И. Опыт
1777	И.И. Пущанов	7 октября	18 октября	3-6ф	113				Пущанов И.И. Опыт
1777	М.А. Рыкачев	16 августа	27 августа	5ф 1д	155				Рыкачев М.А. О нава
1777	М.А. Рыкачев	9-10 сентября	20-21 сентября	10ф 7д	323				Рыкачев М.А. О нава
1777	М.А. Рыкачев	17 сентября	28 сентября	4ф	143				Рыкачев М.А. О нава
1777	А.И. Мордухай-Болтовской	16 августа	27 августа	5ф 0д	152	162		175	Мордухай-Болтовско
1777	А.И. Мордухай-Болтовской	9-10 сентября	20-21 сентября	10ф 7д	323	310		323	Мордухай-Болтовско
1777	А.И. Мордухай-Болтовской	17 сентября	28 сентября	6ф 10д	208	167		180	Мордухай-Болтовско
1777	А.И. Мордухай-Болтовской	20 сентября	1 октября	4ф 8д	142	129		142	Мордухай-Болтовско
1777	А.И. Мордухай-Болтовской	16 сентября	27 сентября	5ф 11д	180	167		180	Мордухай-Болтовско
1777	Д.О. Светский	16 августа	27 августа	5ф 1д	155	162		162	Светский Д.О. Навес
1777	Д.О. Светский	9-10 сентября	20-21 сентября	10ф 7д	323	310		310	Светский Д.О. Навес
1777	Д.О. Светский	25 сентября	6 октября	4ф 8д	142	129		129	Светский Д.О. Навес
1777	Д.О. Светский	16-17 сентября	27-28 сентября	6ф	183	167		167	Светский Д.О. Навес
1777	М.С. Грушецкий, Н.Н. Лазаренко	16 августа	27 августа			162		162	Грушецкий М.С., Л
1777	М.С. Грушецкий, Н.Н. Лазаренко	10 сентября	21 сентября			310		310	Грушецкий М.С., Л

Рис. 4. Фрагмент базы данных с событиями 1777 г.

Fig. 4. Fragment of the database with the events of 1777.

оказываются все события, отраженные в ныне существующих каталогах наводнений, а также в рассмотренных в ходе исследования библиотечных и архивных источниках. База построена по хронологическому принципу (от 1703 до 1799 гг.).

### Заключение

Поиск сведений о наводнениях Невы XIX—XXI вв., их анализ и верификация непременно должны быть продолжены с современных научных позиций и с учетом принципов, изложенных в данной работе.

Выверенный с точки зрения метрологии натуральных измерений единый уровнемерный ряд, в основе которого — реставрированные данные об исторических наводнениях Невы, необходим как для фундаментальных, так и для прикладных научных исследований. Единый, фундаментальный, корректный нуль позволит получать прецизионные сведения о высотах уровня. Эти данные необходимы для уточнения навигационных условий, в частности, вдоль трассы Северного морского пути (для обеспечения безопасности мореплавания, особенно в мелководных районах), изучения деформационных процессов на территориях крупных инженерных сооружений (определения ресурса их эксплуатации), развития Государственной нивелирной сети I класса (в том числе в условиях вечной мерзлоты), а также картосоставления (определения нулей для вычисления высот и глубин).

Кардинального прорыва в изучении феномена наводнений Невы и сопутствующих им явлений не следует ожидать только в связи с завершением строительства Комплекса сооружений защиты Санкт-Петербурга от наводнений. Причин тому несколько: недостаточная для практических нужд изученность природы, динамики и механизмов наводнений Невы; невозможность ликвидации этого фактора в ограниченные сроки; необходимость решения новых задач в связи с постоянно возрастающим региональным влиянием антропогенных факторов.

Однако несомненно, что проблема наводнений Невы останется актуальной даже в условиях недостаточной изученности феномена наводнений Невы, динамики штормовых течений и влияния на нее региональной отрицательной аномалии геоида, аномального размыва берегов, массообмена подземной и поверхностной гидросфер в зоне разгрузки артезианских вод гдовского горизонта в осевой части Финского залива, антропогенных и экологических процессов в регионе.

Санкт-Петербург достоин того, чтобы иметь не только современный каталог наводнений, но и одну из лучших инструментальных сетей в XXI столетии, обеспечивающую решение стратегических потребностей города, области и Северо-Западного региона России на вековых интервалах и на фундаментальном обсерваторском уровне. Создание откорректированного каталога наводнений Невы очень важно для выполнения научных исследований, в которых в настоящее время используются недостаточно достоверные исторические данные по уровню моря [48—50]. Устранение недостоверных данных позволит получать более корректные научные результаты.

### Список литературы

1. *Малова Т.И.* Реставрация данных об исторических наводнениях Невы: принципы построения репрезентативного каталога. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. геогр. наук. СПб., 2021. 26 с.
2. *Богданов В.И.* Кронштадтский футшток и его Шепелевский дублер. Стратегия фундаментального обсерваторского изучения вековых и тысячелетних изменений природной среды в Санкт-Петербургском (Балтийско-Ладожском) регионе. СПб.: Нестор-История, 2015. 248 с.
3. *Богданов В.И.* Методологические аспекты изучения наводнений Невы // *Астрономия и история науки*. СПб.: Искусство России, 1999. С. 113—127.
4. *Богданов В.И.* Эволюция представлений о причинах наводнений Невы // *Университетские Петербургские чтения*. СПб.: Знаменитые университеты, 2003. С. 495—502.
5. *Богданов В.И.* Формирование тысячелетних обсерваторских рядов как фундаментальная научная и техническая проблема // *Физическая метрология: теоретические и прикладные аспекты*. СПб.: KN, 1996. С. 45—58.
6. *Мордухай-Болтовской А.И.* Уровни некоторых Ленинградских наводнений XVIII и начала XIX века // *Известия Государственного гидрологического института*. 1932. № 48. С. 14—35.
7. *Мордухай-Болтовской А.И.* Исследование гидрометрических материалов реки Невы. Часть I / Под ред. Е.И. Иогансона // *Материалы по гидрологии, гидрографии и водным силам СССР*. Вып. XV. Серия I. Сведения об уровнях воды и гидрометрическая сеть. Л.—М.: Госэнергоиздат, 1932. 264 с., план.
8. *Мордухай-Болтовской А.И.* График подъема воды в г. Ленинграде выше 163 см над «0» Витрама при нагонных наводнениях с 1703 г. по 1932 г. с показанием числа наводнений в году // *Атлас Ленинградской области и Карельской АССР*. [Л.]: ГЭНИИ, 1934.
9. *Берх В.Н.* Подробное историческое известие о всех наводнениях, бывших в Санкт-Петербурге // *Записки Государственного Адмиралтейского Департамента, относящиеся к мореплаванью, наукам и словесности*. 1826. Ч. XI. С. 415—500.
10. *Krafft W.L.* Notices et remarques sur les débordemens de la Néva à St. Petersbourg, accompagnées d'une carte représentant la crue et la diminution des eaux du canal de Kronstadt, pour chaque jour de l'année 1777 // *Acta Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae, pro Anno 1777*. St. Petersburg, 1780. P. 39—62.
11. *Крафт В.Л.* Известия и примечания г. Академика Крафта о разливах Невы в Санктпетербурге, с присовокуплением таблицы прибывания и убывания воды в Кронштадтском канале каждого дня 1777 году // *Новья ежемесячныя сочинения*. 1795. Ч. СХ. С. 37—50; Ч. СХI. С. 74—93.
12. *Бауер Ф.В.* Нивеллирование града Санкт-Петербурга сочиненное бывшим господином генерал инженером, генерал квартирмейстером, и разных российских орденов кавалером фон Бауром в 1779 м году. Переведенное по Высочайшему повелению с иностранных языков на российский в 1795 м году Иваном Липгартом. ГМИ СПб. Фонд графики истории города. Шифр: I-A-549-K. 29 л.
13. *Бауер Ф.В.* Нивеллирование Санкт-Петербурга, Военно-Топографическое Деп. № 11747. РГВИА (М). Ф. 846. Оп. 16. Д. 22434.
14. *Georgi J.G.* Versuch einer Beschreibung der Russisch Kaiserlichen Residenzstadt St.Petersburg und der Merckwürligkeiten der Gegend. Von Johann Gottlieb Georgi. Mit einem Plan und einer Karte. St.Petersburg, 1790. XVI, [6], 340, [10] s.
15. *Георги И.Г.* Описание Российско-Императорскаго столичнаго города Санкт-Петербурга и достопамятностей в окрестностях онаго / Перевод с нем. П. Безака. СПб., 1794. ХIС, [14], 727 с., план.
16. *Tooke W.* View of the Russian Empire during the Reign of Catharine the Second, and to the Close of the Present Century. In three volumes. London, 1799. Vol. I. XLIV, 564 p., 1 map; Vol. II. XII, 612 p.; Vol. III. XV, [1], 694, [2] p.
17. *Аллер С.И.* Описание наводнения, бывшего в Санктпетербурге 7 числа Ноября 1824 года. СПб., 1826. VI с., 239 с., 2 приложения.
18. *Каратыгин П.П.* Летопись Петербургских наводнений 1703—1879 гг. СПб., 1889. 87 с.
19. *Рыкачев М.А.* О наводнениях в С. Петербурге и о возможности их предсказывать на основании метеорологических наблюдений // *Записки по гидрографии*. 1898. Вып. XIX. С. 99—124.

20. *Святский Д.О.* Наводнения в устье реки Невы с 1300 по 1932 года // Защита Ленинграда от нагонных наводнений. [Л.]: Ленинградским Ленсоветом, 1933. С. 268—291.
21. *Грушевский М.С., Лазаренко Н.Н.* Изучение Ленинградских наводнений и их предсказание // Труды ГОИН. Вып. 41. Л.: Гидрометеиздат, 1957. С. 142—158.
22. *Нежиховский Р.А.* Вопросы гидрологии реки Невы и Невской губы. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 224 с.
23. *Померанец К.С.* Наводнения в Петербурге 1703—1997. СПб.: Балтрус-бук, 1998. [1], 171 с.
24. *Померанец К.С.* Наводнения // Три века Санкт-Петербурга. Т. I. «Осьмнадцатое столетие». Кн. 2. СПб.: СПбГУ, 2001. С. 7—9.
25. *Померанец К.С.* Дополнение и уточнение сведений о наводнениях в Санкт-Петербурге // Сборник работ по гидрологии. СПб.: Гидрометеиздат, 2004. Вып. 27. С. 97—110.
26. *Померанец К.С.* Три века петербургских наводнений. СПб.: Искусство-СПб, 2005. 216 с.
27. *Померанец К.С.* Несчастья невыхских берегов. Из истории невыхских наводнений. М.: Центрполиграф, 2009. 432 с.
28. Санкт-Петербургские ведомости. 1824. 21 ноября. № 94. С. 1161.
29. *Елизавета Алексеевна.* Письма Императрицы Елизаветы Алексеевны к матери, маркграфине Баденской Амалии (1797—1826) / Предисловие Великого князя Николая Михайловича; перевод с французского, послесловие и примечания Д.В. Соловьева // Звезда. 2001. № 1. С. 60—84.
30. *Анонимный автор.* Подробности бывшего наводнения и новые черты Русского великодушия // «Отечественные записки», издаваемые Павлом Свинымым. 1825. Ч. 21. С. 166—171.
31. *Тобизен.* Перечень метеорологических наблюдений, деланных в Кронштадтском порте Астрономом Тобизеном, в 1824 году // Записки, издаваемые Государственным Адмиралтейским Департаментом, относящиеся к Мореплаванию, Наукам и Словесности. В С.Петербурге, в Морской Типографии. 1825. Ч. IX. С. 492—496.
32. Таблицы к статистическим сведениям о Санктпетербурге. СПб.: Гутенберговская типография, 1836. 8 карт, V с., 98 табл.
33. *Пушкарев И.* Описание Санктпетербурга и уездных городов С. Петербургской губернии. СПб.: Издано собственным иждивением автора, 1839. Ч. I. С. 32—33.
34. Летопись Петропавловской крепости 1703—1879 / Архив Музея истории Санкт-Петербурга. СПб., Петропавловская крепость. Шифр: Кп-7249/III А-549 р. 255 с.
35. *Головизнин К.* Наводнение 7 ноября 1824 года в Кронштадте // Морской сборник. 1881. Т. CLXXXV. № 7. С. 65—96; Т. CLXXXVI. № 8. С. 47—93.
36. *Алтухов М.И.* О наводнениях в С.-Петербурге и средствах борьбы с ними // Записки Императорского Русского технического общества. 1899. № 8—9. С. 453—485.
37. *Тихомиров Е.И.* Некоторые данные о Невском наводнении 7 ноября 1824 г. // Известия Главной геофизической обсерватории. 1932. № 3. С. 39—43.
38. *Чеботарев В.В.* О Ленинградских наводнениях и мерах борьбы с ними // Вопросы коммунального хозяйства. 1924. № 4. С. 20—25.
39. *Мальченко Е.В.* Метеорологические условия образования наводнений в Ленинграде // Ленинград в борьбе с наводнением. Л.: Издание Ленинградского Комендантского Управления, 1925. С. 136—145.
40. *Мацейно А.И.* История Ленинградских наводнений и их повторяемость // Ленинград в борьбе с наводнением. Л.: Издание Ленинградского Комендантского Управления, 1925. С. 164—170.
41. Очерк наводнения в городе Ленинграде 23 сентября 1924 года: [Редакционная статья] // Ленинград в борьбе с наводнением. Л.: Издание Ленинградского Комендантского Управления, 1925. С. 182—212.
42. *Пуйше Э.И.* Невские наводнения // Климат и погода. 1926. № 4. С. 3—15.
43. *Каминский А.А.* По следам Ленинградского наводнения 23 сентября 1924 года // Известия Центрального Гидрометеорологического Бюро. Л., 1925. Вып. IV. С. 77—96.
44. *Берг В.А.* Наводнение в устье р. Невы 23 сентября 1924 г. // Исследования реки Невы и ее бассейна. Труды Государственного гидрологического института. 1929. Вып. 5. С. 23—50. С 2 приложениями: 1. Планом Ленинграда с горизонтами поверхности волны наводнения, линиями наибольших глубин, границей затопления и прочим данными. 2. Планом расположения временных меток наводнений 1924 года и марок наводнений 1777 и 1824 гг.

45. *Кожевников А.С.* О метках наводнений и футштоках, установленных в Петропавловской крепости: Историческая справка Л., 1968. 25 с. Научный архив. Ф. 2. Оп. 8. ППК 14 (2) (1) / 1.
46. *Бенуа И.Н.* Дневник. Метки наводнений в Петропавловской крепости. 1978—1980 гг. // Научный архив ГМИ Санкт-Петербурга. Ф. 1. Оп. 8. Д. ППК 14 (8) (2) / 1.
47. *Малова Т.И.* «Наводнения Невы XVIII в.». Электронная база данных // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*, 2022. Т. 15. № 1. С. 112—118.
48. Состояние равномерных наблюдений и проблема Кронштадтского футштока. Сб. статей / Ред.: Ю.Д. Буланже, В.И. Богданов, И.С. Грамберг, Н.Н. Лазаренко. М.: Междугосударственный геофизический комитет при Президиуме АН СССР, 1986. 136 с.
49. *Гордеева С.М., Малинин В.Н.* Изменчивость морского уровня Финского залива. СПб.: РГТМУ. 2014. 178 с.
50. *Малинин В.Н., Гордеева С.М., Митина Ю.В.* Изменчивость невых наводнений и морского уровня в современных климатических условиях // *Водные ресурсы*, 2016. № 5. С. 544—557.

### References

1. *Malova T.I.* *Restavratsiya dannyh ob istoricheskikh navodneniyah Nevy: printsipy postroeniya reprezentativnogo kataloga*. Restoration of data on the historical floods of the Neva: principles for constructing a representative catalog. PhD Thesis. St. Petersburg, 2021: 26 p. [In Russian].
2. *Bogdanov V.I.* *Kronshadtский футшток i ego shepelevskiy dubler. Strategiya fundamentalnogo observatorskogo izucheniya vekovyh i tysyacheletnih izmeneniy prirodnoy sredy v Sankt-Peterburgskom (Baltiysko-Ladozhskom) regione*. Kronstadt footstock and its Shepelev duple. Strategy for fundamental observatory study of secular and millennial changes in the natural environment in the St. Petersburg (Baltic-Ladoga) region. St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2015: 248 p. [In Russian].
3. *Bogdanov V.I.* Methodological aspects of studying the floods of the Neva. *Astronomiia i istoriia nauki*. Astronomy and the history of science. St. Petersburg: Iskustvo Rossii, 1999: 113—127. [In Russian].
4. *Bogdanov V.I.* Evolution of ideas about the causes of the floods of the Neva. *Universitetskie Peterburgskie chteniia*. University Petersburg Readings. St. Petersburg: Znamenityiye universitety, 2003: 495—502. [In Russian].
5. *Bogdanov V.I.* Formation of millennial observatory series as a fundamental scientific and technical problem. *Fizicheskaya metrologiya: teoreticheskiye i prakticheskiye aspekty*. Physical metrology: theoretical and applied aspects. 1996: 45—58. [In Russian].
6. *Morduhai-Boltovskoy A.I.* Levels of some Leningrad floods of the 18th and early 19th centuries. *Izvestiya Gosudarstvennogo Gidrologicheskogo instituta*. Proceedings of the State Hydrological Institute. 1932, 48: 14—35. [In Russian].
7. *Morduhai-Boltovskoy A.I.* Study of hydrometric materials of the Neva River. Part I. Ed. E.I. Ioganson. *Materialy po gidrologii, gidrografii i vodnym silam SSSR. Vyp. XV. Seriya I. Svedeniia ob urovniakh vody i gidrometricheskaya set'*. Materials on hydrology, hydrography and water forces of the USSR. Issue. XV. Series I. Data on water levels and hydrometric network. Leningrad—Moscow: Gosenergoizdat, 1932: 264 p., plan. [In Russian].
8. *Morduhai-Boltovskoy A.I.* Graph of water rise in Leningrad above 163 cm above Vitram's «0» during surge floods from 1703 to 1932 with an indication of the number of floods per year. *Atlas Leningradskoi oblasti i Karel'skoi ASSR*. Atlas of the Leningrad Region and Karelian Autonomous Soviet Socialist Republic. [Leningrad]: GENII, 1934. [In Russian].
9. *Berh V.N.* Detailed historical news about all the floods that were in St. Petersburg. *Zapiski Gosudarstvennogo Admiralteiskogo Departamenta, odnosyashiesya k moreplavaniyu, naukam i slovesnosti*. Notes of the State Admiralty Department related to navigation, science and literature. 1826, XI: 415—500. [In Russian].
10. *Krafft W.L.* Notices et remarques sur les débordemens de la Néva à St. Petersbourg, accompagnées d'une carte représentant la crue et la diminution des eaux du canal de Kronstadt, pour chaque jour de l'année 1777. *Acta Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae*, pro Anno 1777. St. Petersburg, 1780: 39—62.
11. *Krafft W.L.* News and notes by Mr. Academician Kraft on the floods of the Neva in St. Petersburg, with the addition of a table of the rise and fall of water in the Kronstadt Canal every day in 1777.



- Novyia ezhe mesyachniya sochineniya*. New monthly works. 1795, CIX: 37—50; CXI: 74—93. [In Russian].
12. Bauer F.W. Nivelirovaniye grada Sankt-Peterburga sochinennoye byvshym gospodinom general inzhenerom, general kvartirmeisterom, i raznyh rossiyskikh ordenov kavalerom fon Baurom v 1779m godu. Leveling of the city of St. Petersburg, composed by the former Mr. General Engineer, General Quartermaster, and various Russian orders, Chevalier von Baur in 1779. Translated by the Highest Command from foreign languages into Russian. in 1795 by Ivan Lipgart. GMI SPb. Foundation graphics of the history of the city. Cipher: I-A-549-K. 29 l. [In Russian].
  13. Bauer F.W. Nivelirovaniye Sankt-Peterburga, Voенno-Topograficheskoe Depo. Leveling St. Petersburg, Military Topographic Depot. № 11747. RGVIA (M). F. 846. Op. 16. D. 22434. [In Russian].
  14. Georgi J.G. Versuch einer Beschreibung der Russisch Kaiserlichen Residenzstadt St.Petersburg und der Mercmüroligezeiten der Gegend. Von Johann Gottlieb Georgi. Mit einem Plan und einer Karte. St.Petersburg, 1790. XVI, [6], 340, [10] s.
  15. Georgi I.G. Opisaniye Rossiysko-Imperatorskago stolichnago goroda Sankt-Peterburga i dostopamyatnostey v okrestnostyah onago. Description of the Russian-Imperial capital city of St. Petersburg and sights in the vicinity of it. Translated from German P. Bezak. St. Petersburg, 1794. XIC, [14], 727 p., plan. [In Russian].
  16. Tooke W. View of the Russian Empire during the Reign of Catharine the Second, and to the Close of the Present Century. In three volumes. London, 1799. Vol. I. XLIV, 564 p., 1 map; Vol. II. XII, 612 p.; Vol. III. XV, [1], 694, [2] p.
  17. Aller S.I. Opisaniye navodneniya, byvshago v Sanktpeterburge 7 chisla Noyabrya 1824 goda. Description of the flood that was in St. Petersburg on November 7, 1824. St. Petersburg, 1826: VI p., 239 p., 2 additions. [In Russian].
  18. Karatygin P.P. Letopis Peterburgskikh navodneniy 1703—1879 gg. Chronicle of the St. Petersburg floods of 1703—1879. St. Petersburg, 1889: 87 p. [In Russian].
  19. Rykachev M.A. On floods in St. Petersburg and the possibility of predicting them on the basis of meteorological observations. *Zapiski po gidrografii*. Notes on hydrography. 1898, XIX: 99—124. [In Russian].
  20. Svyatskiy D.O. Floods at the mouth of the Neva River from 1300 to 1932. *Zashchita Leningrada ot nagonnykh navodnenii*. Protection of Leningrad from surge floods. [Leningrad]: Lenoblispolkom Lensoveta, 1933: 268—291. [In Russian].
  21. Grushevskiy M.S., Lazarenko N.N. The study of the Leningrad floods and their prediction. *Trudy GOIN*. Proceedings of the GOIN. 41, 1957: 142—158. [In Russian].
  22. Nezhihovskiy R.A. *Voprosy gidrologii reki Newy i Newskoj guby*. Issues of hydrology of the Neva River and the Neva Bay. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1988: 224 p. [In Russian].
  23. Pomeranets K.S. *Navodneniya v Peterburge 1703—1997*. Floods in St. Petersburg 1703—1997. St. Petersburg: Baltrus-buk, 1998: [1], 171 p. [In Russian].
  24. Pomeranets K.S. Floods. *Tri veka Sankt-Peterburga. T. I. «Os'mnadtsatoe stoletie». Kn. 2*. Three centuries of St. Petersburg». T. I. «The Eighteenth Century». B. 2. St. Petersburg: SPbGU, 2001: 7—9. [In Russian].
  25. Pomeranets K.S. Addition and clarification of information about floods in St. Petersburg. *Sbornik rabot po gidrologii*. Collection of works on hydrology. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 2004, 27: 97—110. [In Russian].
  26. Pomeranets K.S. *Tri veka peterburgskikh navodneniy*. Three centuries of St. Petersburg floods. St. Petersburg: «Art-St. Petersburg», 2005: 216 p. [In Russian].
  27. Pomeranets K.S. *Neschastya nevskiyh beregov. Iz istorii nevskiyh navodneniy*. The misfortunes of the Neva banks. From the history of the Neva floods. Moscow: Tsentrpoligraf, 2009: 432 p. [In Russian].
  28. *Sankt-Peterburgskiyе vedomosti*. Saint-Petersburg news. 1824. 21 november. 94: 1161. [In Russian].
  29. *Elizaveta Alekseevna*. Letters from Empress Elizaveta Alekseevna to her mother, Margravine Amalia of Baden (1797—1826). Foreword by Grand Duke Nikolai Mikhailovich. Translation from French, afterword and notes by D.V. Solovyova. *Zvezda*. Star. 2001, 1: 60—84. [In Russian].
  30. *Anonimniy avtor*. Details of the former flood and new features of Russian generosity. «*Otechestvenniye zapiski*», *izdavaemiya Pavlom Svininyim*. «Notes of the Fatherland», published by Pavel Svinin. 1825, 21: 166—171. [In Russian].
  31. *Tobizen*. List of meteorological observations made in the port of Kronstadt by Astronomer Tobizen in 1824. *Zapiski, izdavayemiya Gosudarstvennym Admiralteiskim Departamentom, otnosyashchiyasya*

- k Moreplavaniyu, Naukam i Slovesnosti. V S. Peterburge, v Morskoj Tipografii.* Notes published by the State Admiralty Department, relating to Navigation, Sciences and Literature. In St. Petersburg, in the Marine Printing House. 1825, IX: 492—496. [In Russian].
32. *Tablitsy k statisticheskim svedeniyam o Sanktpeterburge.* Tables for statistical information about St. Petersburg. St. Petersburg: Gutenberg Printing House, 1836: 8 maps, V p., 98 tables. [In Russian].
  33. *Pushkarev I. Opisanija Sanktpeterburga i uezdnyh gorodov S. Peterburgskoy gubernii.* Description of St. Petersburg and county towns of St. Petersburg province. St. Petersburg: Published by the author's own dependency, 1839, I: 32—33. [In Russian].
  34. *Letopis Petropavlovskoy kreposti 1703—1879. Arkhiv Muzeia istorii Sankt-Peterburga.* Chronicle of the Peter and Paul Fortress 1703—1879. Archive of the Museum of the History of St. Petersburg. St. Petersburg, Peter and Paul Fortress. Cipher: Кп-7249/III A-549 p. 255 p. [In Russian].
  35. *Goloviznin K.* Flood on November 7, 1824 in Kronstadt. *Morskoj sbornik.* Marine collection. 1881, CLXXXV, 7: 65—96; CLXXXVI, 8: 47—93. [In Russian].
  36. *Altuhov M.I.* On floods in St. Petersburg and means of combating them. *Zapiski Imperatorskago Russkago tehničeskago obschestva.* Notes of the Imperial Russian Technical Society. 1899, 8—9: 453—485. [In Russian].
  37. *Tihomirov E.I.* Some data on the Nevsky flood on November 7, 1824. *Izvestiya Glavnoi geofizicheskoi observatorii.* Bulletin of the Main Geophysical Observatory. 1932, 3: 39—43. [In Russian].
  38. *Chebotaryev V.V.* On the Leningrad floods and measures to combat them. *Voprosy kommunalnogo hozyaistva.* Issues of communal services. 1924, 4: 20—25. [In Russian].
  39. *Malchenko E.V.* Meteorological conditions for the formation of floods in Leningrad. *Leningrad v bor'be s navodneniem.* Leningrad in the fight against floods. Leningrad: Edition of the Leningrad Commandant's Office, 1925: 136—145. [In Russian].
  40. *Matseino A.I.* The history of the Leningrad floods and their recurrence. *Leningrad v bor'be s navodneniem.* Leningrad in the fight against the flood. Leningrad: Edition of the Leningrad Commandant's Office, 1925: 164—170. [In Russian].
  41. Essay on the flood in the city of Leningrad on September 23, 1924. *Leningrad v bor'be s navodneniem.* Leningrad in the fight against the flood. Leningrad: Edition of the Leningrad Commandant's Office, 1925: 182—212. [In Russian].
  42. *Puishe E.I.* Neva floods. *Klimat i pogoda.* Climate and weather. 1926, 4: 3—15. [In Russian].
  43. *Kaminskiy A.A.* In the footsteps of the Leningrad flood on September 23, 1924. *Izvestiya Tsentralnogo Gidrometeorologicheskogo byuro.* News of the Central Hydrometeorological Bureau. Leningrad, 1925, IV: 77—96. [In Russian].
  44. *Berg V.A.* Flooding at the mouth of the river. Neva September 23, 1924. *Issledovaniia reki Nevy i ee basseina. Trudy Gosudarstvennogo gidrologicheskogo instituta.* Research of the Neva River and its basin. Proceedings of the State Hydrological Institute. 1929, 5: 23—50. With 2 applications: 1. Plan of Leningrad with flood wave surface horizons, deepest lines, flood boundary and other data. 2. The location plan of the time marks of the floods of 1924 and the marks of the floods of 1777 and 1824. [In Russian].
  45. *Kozhevnikov A.S.* *O metkah navodneniy i futstokah, ustanovlennykh v Petropavlovskoy kreposti: Istoricheskaya spravka.* About flood markers and footstacks installed in the Peter and Paul Fortress: Historical reference. Leningrad, 1968: 25 p. Scientific archive. F. 2. Op. 8. ППК 14 (2) (1) 1. [In Russian].
  46. *Benua I.N.* *Dnevnik. Metki navodneniy v Petropavlovskoy kreposti. 1978—1980 gg.* Diary. Flood markers in the Peter and Paul Fortress. 1978—1980. Scientific archive of the GMI of St. Petersburg. F. 1. Op. 8. D. ППК 14 (8) (2) 1. [In Russian].
  47. *Malova T.I.* «Floods of the Neva in the 18th century». Electronic database. *Fundamentalnaya i prikladnaya girofizika.* Fundamental and applied hydrophysics. 2022, 15 (1): 112—118. [In Russian].
  48. Sostoianie urovnemernykh nabliudenii i problema Kronshtadtskogo futstoka. *Sbornik statei.* Status of level gauge observations and the problem of the Kronstadt trough. Digest of articles, ed. Yu.D. Bulan-zhe, V.I. Bogdanov, I.S. Gramberg. N.N. Lazarenko. Moscow: Interdepartmental Geophysical Committee under the Presidium of the USSR Academy of Sciences, 1986: 136 p. [In Russian].
  49. *Gordeeva S.M., Malinin V.N.* *Izmenchivost' morskogo urovnya Finskogo zaliva.* Sea level variability in the Gulf of Finland. St. Petersburg: Russian State Hydrometeorological University, 2014: 178 p. [In Russian].

50. *Malinin V.N., Gordeeva S.M., Mitina Yu.V.* Variability of the Neva floods and sea level in modern climatic conditions. *Vodnyye resursy*. Water resources. 2016, 5: 544—557.

***Информация об авторе***

*Малова Татьяна Игоревна*, канд. геогр. наук, ученый секретарь, Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, Москва, malova.ti@yandex.ru.

***Information about author***

*Malova Tatiana Igorevna*, PhD (Geogr. Sci.), Scientific Secretary, Shirshov Institute of oceanology, Russian academy of sciences, Moscow.

**Конфликт интересов:** конфликт интересов отсутствует.

*Статья поступила 05.05.2022.*

*Принята в печать 25.05.2022.*

*The article was received on 05.05.2022.*

*The article was accepted on 25.05.2022.*

doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-324-325

## Памяти А.И. Угрюмова



2 апреля 2022 г., на 78 году жизни скончался доктор географических наук, профессор Александр Иванович Угрюмов — заслуженный метеоролог РФ, выдающийся ученый и прекрасный человек, великий популяризатор науки.

Александр Иванович Угрюмов родился 5 августа 1944 г. в Москве. Закончив географический факультет Московского государственного университета, он в Гидрометцентре СССР около 15 лет занимался разработкой новых методов долгосрочных прогнозов. В 1981 г. после переезда в Ленинград Александр Иванович стал работать доцентом на кафедре динамики океана Ленинградского гидрометеорологического института. Поскольку область его научных интересов была всегда связана с крупномасштабным взаимодействием атмосферы и океана, то вполне естественно, что в 1988 г. им была успешно защищена диссертация на соискание ученой степени доктора геогр. наук на тему «Закономерности крупномасштабного взаимодействия Атлантического океана и атмосферы в умеренных широтах Северного полушария». В 1997 г. ему присвоено звание профессора.

С 1989 по 2004 г. Александр Иванович Угрюмов возглавлял научно-техническое издательство «Гидрометеоиздат». Именно на годы его руководства приходится расцвет издательства: выпускаются научные монографии, учебники и большое количество научно-популярной литературы. Всего за указанный период издательство опубликовало более тысячи наименований литературы по гидрометеорологии.

В 2004 г. Александру Ивановичу присвоено звание заслуженного метеоролога Российской Федерации. Диплом, подписанный В.В. Путиным, вручала В.И. Матвиенко, сказав очень справедливые слова о трудности и важности прогностической работы метеоролога, а также о заслуженности А.И. Угрюмовым этой награды.

С 2004 г. А.И. Угрюмов начал работать профессором на кафедре метеорологических прогнозов Российского государственного гидрометеорологического университета, где занимался научными исследованиями, читал лекции по общей циркуляции атмосферы и методам долгосрочных прогнозов, писал учебники.

Александр Иванович руководил научными коллективами, которые проводили исследования изменений климата и крупномасштабного взаимодействия атмосферы и океана. Им были выполнены фундаментальные исследования климатических изменений температуры океана и циркуляции атмосферы и их влияние на формирование долгопериодных колебаний температуры северо-западного региона России, а также внесен заметный вклад в изучение влияния динамики стратосферы на циркуляцию тропосферы.

Александр Иванович был прекрасным лектором, способным донести до слушателя необходимые знания, увлечь и заинтересовать в столь любимой им метеорологии. Под руководством А.И. Угрюмова студентами проведено множество исследований, защищены диссертационные работы. Все, работавшие с Александром Ивановичем, ценили его громадную эрудицию, интеллигентность, чувство юмора, человечность.

Александр Иванович Угрюмов являлся автором большого числа значимых научных публикаций, среди которых учебники «Долгосрочные прогнозы погоды» и «Долгосрочные метеорологические прогнозы», монографий «Облака. Происхождение. Классификация. Распознавание», «Климат Антарктического полуострова и его изменения», множество статей, посвященных долгосрочным прогнозам, взаимодействию атмосферы и океана, взаимодействию стратосферы и тропосферы.

А.И. Угрюмов — автор самых лучших научно-популярных книг по метеорологии — «На льдине к Северному полюсу. История полярных дрейфующих станций», «По сведениям Гидрометцентра...», «Когда пойдет дождь? Занимательная метеорология». Александр Иванович являлся членом редколлегии журнала «Ученые записки РГГМУ» (в настоящее время «Гидрометеорология и экология») с его первого номера (2005 г.) и, благодаря опыту работы в Гидрометеоиздате, многое сделал для становления журнала и его успешной деятельности.

Кроме метеорологии Александр Иванович всю жизнь занимался историей русской армии и флота, выпустил на эту тему несколько статей и две монографии. Его последняя монография, выпущенная в конце 2021 г., «Люди Цусимы. Русские моряки в героической эпопее». У Александра Ивановича было много планов, которые, к сожалению, не будут реализованы.

Александр Иванович Угрюмов пользовался уважением и любовью как преподавателей, так и студентов. Утрата это тяжела, безвременна и невозможна.

*Коллеги, друзья, ученики*

doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-326-327

## Памяти А.М. Сударикова (19.04.1956 — 29.03.2022)



29 марта 2022 г., на 66-ом году жизни скоропостижно скончался заведующий кафедрой социально-гуманитарных наук, кандидат химических наук, доктор исторических наук, доцент Андрей Михайлович Судариков.

А.М. Судариков пришел на работу на кафедру социально-гуманитарных наук РГГМУ в 2010 г., в 2015 г. стал заведующим этой кафедры и много сделал для ее развития. Незадолго до прихода в РГГМУ, в 2007 г. им была защищена диссертация на соискание ученой степени доктора исторических наук по специальности «Отечественная история» на тему «Роль ученых-ленинградцев в создании эффективных средств обороны страны в первое послевоенное десятилетие: 1945—1955 гг.».

Сферой научных интересов А.М. Сударикова была история науки и техники, история советского военно-промышленного комплекса и науки ВПК, проблемы военной и политической истории СССР и России. Андрей Михайлович внес значительный вклад в развитие исторической науки: он являлся автором и соавтором более 320 научных и учебно-методических трудов и публикаций, среди которых 15 монографий, 15 учебников и учебных пособий. А.М. Судариков был действительным членом Академии военно-исторических наук, Академии геополитических проблем, членом-корреспондентом Международной Академии наук высшей школы.

Андрей Михайлович всегда старался передать студентам РГГМУ как можно больше знаний по истории России и Великой Отечественной войны, понимал высокую значимость истории в патриотическом воспитании современной молодежи. Он с интересом организовывал и проводил Международные и Всероссийские научные конференции. Так, 24 марта 2022 г. Андрей Михайлович организовал проведение Всероссийской научной конференции «Наука

Санкт-Петербурга — Петрограда — Ленинграда и обеспечение безопасности страны», которую высоко оценили его коллеги, студенты и преподаватели различных вузов Российской Федерации.

Андрей Михайлович Судариков навсегда останется в сердцах его коллег, друзей и знакомых как ответственный руководитель, неравнодушный, отзывчивый, добросердечный и уважаемый человек.

*Коллеги, друзья, ученики*

## К 75-летию Анатолия Дмитриевича Кузнецова



14 ноября 2021 г. исполнилось 75 лет заведующему кафедрой экспериментальной физики атмосферы РГГМУ, доктору физико-математических наук, профессору Анатолию Дмитриевичу Кузнецову.

После окончания физического факультета Ленинградского государственного университета Анатолий Дмитриевич начал свою трудовую деятельность в РГГМУ (тогда ЛГМИ) в феврале 1971 г. в должности младшего научного сотрудника Научно-исследовательского института авиационной метеорологии. После обучения в очной аспирантуре физического факультета Ленинградского государственного университета под руководством академика Кондратьева К.Я. и доцента Тимофеева Ю.М. он успешно в 1975 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. С этого года Кузнецов А.Д. прошел в Университете путь от старшего научного сотрудника до заведующего кафедрой, получил ученую степень доктора физико-математических наук и ученые звания доцента и профессора.

Кузнецов А.Д. ведет большую научную работу. Все проведенные в Университете годы профессор Кузнецов А.Д. являлся либо исполнителем, либо руководителем многочисленных грантов, хоздоговорных и госбюджетных НИР. Им опубликованы 1 монография и более 160 научных статей. Он ежегодно участвует в различных международных и всесоюзных научных конференциях. Многие годы Кузнецов А.Д. успешно возглавлял диссертационный совет по метеорологии.

Кузнецов А.Д. является всесторонне подготовленным педагогом. Свою педагогическую деятельность Кузнецов Анатолий Дмитриевич начал ассистентом



на кафедре космической и авиационной метеорологии метеорологического факультета ЛГМИ, проводя практические занятия по учебным дисциплинам «Астрономия» и «Авиационная метеорология». С годами диапазон читаемых курсов лекций существенно увеличился, и в настоящее время Кузнецов А.Д. читает следующие курсы лекций для бакалавров, магистров и аспирантов: «Методы зондирования окружающей среды», «Автоматические метеорологические станции общего и специального назначения», «Дистанционное зондирование атмосферы», «Программные средства обработки данных автоматических метеорологических станций», «Теория переноса электромагнитного излучения в газах», «Моделирование природных процессов» и др.

Для методического обеспечения читаемых курсов Кузнецовым А.Д. подготовлены многочисленные учебники и учебные пособия: «Методы зондирования окружающей среды (атмосферы)», «Автоматические метеорологические станции общего и специального назначения», «Интерпретация данных доплеровских метеорологических радиолокаторов», «Дистанционное зондирование окружающей среды из космоса», «Remote Sensing of the Environment and Radiation Transfer» и многие другие.

За свою многолетнюю трудовую деятельность в стенах Университета профессор Кузнецов А.Д. подготовил 12 кандидатов наук, большое число инженеров, бакалавров и магистров. Профессор Кузнецов А.Д. является высококвалифицированным специалистом в своей области деятельности, пользуется заслуженным авторитетом у коллег, общителен, активно участвует в общественной жизни кафедры и Университета, является членом Ученых советов метеорологического факультета и Университета.

За многолетний труд Кузнецов А.Д. удостоен звания «Почетный работник Высшего профессионального образования» и «Почетный работник РГГМУ», награжден медалью «В память 300-летия Санкт-Петербурга», является академиком Петровской академии наук и искусств, ветераном труда.

Желаем Вам, дорогой Анатолий Дмитриевич, крепкого здоровья, творческого долголетия и многих лет плодотворной научной и педагогической деятельности.

*Коллеги, друзья, ученики.*

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ

№ 67

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

*Начальник РИО А.В. Ляхтейнен*  
*Технический редактор М.В. Иванова*

---

Подписано в печать 28.06.2022. Дата выхода в свет 04.07.22. Формат 70×100 1/16. Гарнитура Times New Roman.  
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 10,5625. Тираж 50 экз. Заказ № 1242. Цена свободная.  
Адрес издателя, редакции и типографии: РГГМУ, 192007, Санкт-Петербург, Воронежская ул., д. 79.

Учредитель: Российский государственный гидрометеорологический университет

---