

ISSN 1999-4508 (Print)  
ISSN 2686-8253 (Online)

# ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ:

ПРОБЛЕМЫ, ТЕХНОЛОГИИ, УПРАВЛЕНИЕ

# WATER SECTOR OF RUSSIA:

PROBLEMS, TECHNOLOGIES, MANAGEMENT

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
SCIENTIFIC/PRACTICAL JOURNAL

№ 5, 2023



# РОСВОДРЕСУРСЫ

ИЗДАНИЕ ЖУРНАЛА ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ В  
РАМКАХ МЕРОПРИЯТИЙ, ФИНАНСИРУЕМЫХ  
ЗА СЧЕТ СУБСИДИЙ НА ИНЫЕ ЦЕЛИ



УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА «ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ:  
ПРОБЛЕМЫ, ТЕХНОЛОГИИ, УПРАВЛЕНИЕ»

РОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ИНСТИТУТ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
И ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ (ФГБУ РосНИИВХ)

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

### ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**Косолапов А.Е.**, д-р техн. наук, профессор, Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов (Екатеринбург, Россия)

### ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

**Лепихин А.П.**, д-р геогр. наук, профессор, Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов (Пермь, Россия)

### РЕДКОЛЛЕГИЯ

**Беляев С.Д.**, д-р геогр. наук, Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов (Екатеринбург, Россия)

**Болгов М.В.**, д-р техн. наук, профессор, Институт водных проблем РАН (Москва, Россия)

**Борисова Г.Г.**, д-р биол. наук, профессор, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (Екатеринбург, Россия)

**Веницианов Е.В.**, д-р физ.-мат. наук, профессор, Институт водных проблем РАН (Москва, Россия)

**Гареев А.М.**, д-р геогр. наук, профессор, Башкирский государственный университет (Уфа, Россия)

**Заслоновский В.Н.**, д-р техн. наук, профессор, Забайкальский государственный университет (Чита, Россия)

**Зиновьев А.Т.**, д-р техн. наук, Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения РАН (Барнаул, Россия)

**Козлов Д.В.**, д-р техн. наук, профессор, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева (Москва, Россия)

**Никифоров А.Ф.**, д-р хим. наук, профессор, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (Екатеринбург, Россия)

**Румянцев В.А.**, д-р геогр. наук, академик РАН, профессор, Институт озероведения РАН (Санкт-Петербург, Россия)

**Селезнёв В.А.**, д-р техн. наук, профессор, Институт экологии Волжского бассейна РАН (Тольятти, Россия)

**Хафизов А.Р.**, д-р техн. наук, профессор, Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов (Уфа, Россия)

**Шевчук А.В.**, д-р экон. наук, профессор, Совет по изучению производительных сил Всероссийской академии внешней торговли Минэкономразвития России (Москва, Россия)

**Ясинский С.В.**, д-р геогр. наук, Институт географии РАН (Москва, Россия)

### МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОВЕТ

**Бурлибаев М.Ж.**, д-р техн. наук, профессор, Академия водохозяйственных наук РФ (Алматы, Республика Казахстан)

**Габриелян Б.К.**, д-р биол. наук, профессор, Национальная академия наук Республики Армения (Ереван, Республика Армения)

**Гюнтер Блешль**, профессор, Институт гидротехники и управления водными ресурсами (Вена, Австрия)

**Драган А. Савич**, профессор, Центр водных систем Университета Эксетера (Эксетер, Великобритания)

**Карло Гуальтери**, профессор, Университет Неаполя им. Фридриха II (Неаполь, Италия)

**Кью Джи Ванг**, профессор, Университет Мельбурна (Мельбурн, Австралия)

**Слободан П. Симонович**, профессор, Университет Западного Онтарио (Онтарио, Канада)

### ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ РЕДАКТОР

**Валек Н.А.**, канд. филол. наук, Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов (Екатеринбург, Россия)

---

---

# ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ:

ПРОБЛЕМЫ, ТЕХНОЛОГИИ, УПРАВЛЕНИЕ

---

---

# WATER SECTOR OF RUSSIA:

PROBLEMS, TECHNOLOGIES, MANAGEMENT

---

---

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

---

SCIENTIFIC/PRACTICAL JOURNAL

№ 5, 2023

ЕКАТЕРИНБУРГ  
EKATERINBURG



## EDITORIAL BOARD

### CHIEF EDITOR

**Aleksey E. Kosolapov**, Professor, Dr. Sc. (Technical), Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection (Ekaterinburg, Russia)

### DEPUTY CHIEF EDITOR

**Anatoliy P. Lepikhin**, Dr. Sc. (Geographical), Professor, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection Kama Branch, Institute of Mining of the Russian Academy of Sciences (Perm, Russia)

### MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD

**Sergey D. Belayev**, Dr. Sc. (Geographical), Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection (Ekaterinburg, Russia)

**Mikhail V. Bolgov**, Dr. Sc. (Technical), Professor, Russian Academy of Sciences Water Problems Institute of Water Problems (Moscow, Russia)

**Galina G. Borisova**, Dr. Sc. (Biological), Professor, Ural Federal University (Ekaterinburg, Russia)

**Evgeniy V. Venitsianov**, Dr. Sc. (Physical/mathematical), Professor, Russian Academy of Sciences Institute of Water Problems (Moscow, Russia)

**Aufar M. Gareyev**, Dr. Sc. (Geographical), Professor, Bashkir State University, Chair of Hydrology and Geo/ecology (Ufa, Russia)

**Valeriy N. Zaslunovskiy**, Dr. Sc. (Technical), Professor, Transbaikalian State University (Chita, Russia)

**Aleksandr T. Zinoviyev**, Dr. Sc. (Technical), Russian Academy of Sciences Siberian Branch Institute of Water and Environmental Problems (Barnaul, Russia)

**Dmitriy V. Kozlov**, Dr. Sc. (Technical), Professor, K.A. Timiryazev Russian State Agrarian University (Moscow, Russia)

**Aleksandr F. Nikiforov**, Dr. Sc. (Chemical), Professor, Ural Federal University (Ekaterinburg, Russia)

**Vladislav A. Rumyantsev**, Dr. Sc. (Geographical), Professor, Russian Academy of Sciences Institute of Limnology, (St. Petersburg, Russia)

**Vladimir A. Seleznyev**, Dr. Sc. (Technical), Professor, Russian Academy of Sciences Institute of the Volga Basin Ecology Laboratory for Water Bodies Monitoring (Togliatti, Russia)

**Airat R. Khafizov**, Dr. Sc. (Technical), Professor, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection (Ufa, Russia)

**Anatoliy V. Shevchuk**, Dr. Sc. (Economic), Professor, Ministry of Economic Development of the Russian Federation Russian Academy of External Trade Board for Studying Productive Forces (Moscow, Russia)

**Sergey V. Yasinskiy**, Dr. Sc. (Geographical), Russian Academy of Sciences Institute of Geography (Moscow, Russia)

### INTERNATIONAL BOARD

**Malik Zh. Burlibayev**, Dr. Sc. (Technical), Professor, Kazakhstan Agency of Applied Ecology (Almaty, Kazakhstan)

**Bardukh K. Gabrielyan**, Dr. Sc. (Biological), Professor, National Academy of Sciences of the Republic of Armenia (Yerevan, Armenia)

**Günter Blöschl**, Professor, Institute of Hydraulic Engineering and Water Resources Management (Vienna, Austria)

**Dragan A. Savić**, Professor, Centre for Water Systems University of Exeter (Exeter, Great Britain)

**Carlo Gualteri**, Professor, Federico II University (Napoli, Italy)

**Q.J. Wang**, Professor, University of Melbourne (Melbourne, Australia)

**Slobodan P. Simonovic**, Ph.D, University of Western Ontario (Ontario, Canada)

### EXECUTIVE EDITOR

**Nataliya A. Valek**, Cand. Sc. (Philological), Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection (Ekaterinburg, Russia)



---

## СОДЕРЖАНИЕ

---

### ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ, ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ

---

Сценарные характеристики уровенно-минерализационного режима системы озер Айдар-Тузкан <i>М.Г. Гречушникова, А.В. Фролов, Д.Н. Айбулатов</i> .....	5
Сравнительная оценка первичной продукции наземных и водных экосистем <i>В.В. Бульон</i> .....	21
Состояние макрозообентоса малых озер урбанизированных территорий Карелии (на примере озер Плотичье и Китайское) <i>Е.С. Савосин</i> .....	33
Гидрография, морфометрия и мониторинг современного состояния озера Джылтырбас <i>Б.Е. Аденбаев, С.Б. Калабаев</i> .....	43

---

### ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

---

Трансформация гидрологического и термического режимов реки Объяснения и бухты Золотой Рог в результате сброса морской воды с Владивостокской ТЭЦ-2 <i>Н.Н. Бортин, А.М. Горчаков</i> .....	54
Оценка влияния абиотических факторов на гетеротрофные бактериоценозы воды и донных отложений в северной части Каспийского моря <i>Д.Г. Баубекова, В.В. Проскура</i> .....	71
Гидрологические условия функционирования Усть-Маньчских рыбоходных каналов <i>В.Н. Шкура, А.В. Шевченко</i> .....	81
Развитие колониального оболочника <i>Botryllus schlosseri</i> и мшанки <i>Cryptosula pallasiana</i> в сообществах макрообрастания на искусственных субстратах (Севастопольская бухта, Черное море) <i>Л.Б. Далёкая</i> .....	97
Требования к оформлению материалов.....	107

---

## CONTENT

---

### WATER RESOURCES, WATER BODIES

---

Scenario characteristics of the Aidar-Tuzkan lake system level/mineralization regime <i>M.G. Grechushnikova, A.V. Frolov, D.N. Aybulatov</i> .....	5
Comparative Assessment of Primary Production in Terrestrial and Aquatic Ecosystems <i>V.V. Boulion</i> .....	21
The state of the Karelia small lakes macro/zoo/benthos under the conditions of urbanization (the lakes Plotichye and Kitayskoye as a study case) <i>E.S. Savosin</i> .....	33
Hydrography, morphometry and monitoring of the present state of the Lake Dzhyltyrbas <i>B.E. Adenbayev, S.B. Kalabayev</i> .....	43

---

### ECOLOGICAL ASPECTS OF WATER/ECONOMIC ACTIVITIES

---

Transformation of the hydrological and thermal regimes of the Obyasneniya River and the Zolotoy Rog Bay resulted from seawater discharge from the Vladivostok CHPP-2 <i>N.N. Bortin, A.M. Gorchakov</i> .....	54
Assessment of the influence of some abiotic factors on heterotrophic bacteriocoenosis of water and bottom sediments in the northern part of the Caspian Sea <i>D.G. Baubekova, V.V. Proskurina</i> .....	71
Hydrological conditions of functioning of Ust-Manych fish channels <i>V.N. Shkura, A.V. Shevchenko</i> .....	85
Development of colonial shell <i>Botryllus schlosseri</i> and bryozoans <i>Cryptosula pallasiana</i> in encrustation communities at the artificial substrates (the Black Sea Sevastopol Bay) <i>L.B. Dalyokaya</i> .....	97
Requirements to the material to be accepted.....	107

## Сценарные характеристики уровенно-минерализационного режима системы озер Айдар-Тузкан

М.Г. Гречушникова<sup>1,2</sup>  , А.В. Фролов<sup>1</sup> , Д.Н. Айбулатов<sup>2</sup> 

 allavis@mail.ru

<sup>1</sup> ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук»,  
Москва, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Московский государственный университет  
имени М.В.Ломоносова», Москва, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** Работа посвящена прогнозу уровенного режима искусственно созданной системы озер Айдаркуль-Тузкан. Водный баланс этих озер отражает изменения режима притока коллекторно-дренажных вод и сбросов воды из Чардарьинского водохранилища. Актуальность темы обусловлена необходимостью оценки перспективного изменения уровенного режима озер Айдаркуль-Тузкан в связи с постройкой плотины, ограничившей приток воды из Арнасайских озер и последовавшей с 2006 г. устойчивой регрессией уровня воды в озерах. Выполненные ранее прогнозы уровенного режима системы озер в сложившихся условиях требуют коррекции, учитывая большую практическую значимость водного объекта для региона. **Методы.** Задача решалась на основе динамико-стохастической модели многолетних колебаний уровня бессточного водоема с учетом зависимости испарения с акватории от солености озерной воды. **Результаты.** При сохранении современного среднего притока коллекторно-дренажных вод 2,2 км<sup>3</sup>/год, уровень воды в озере в перспективе будет иметь равновесную отметку 241,9 м абс и соленость воды 61 ‰. При уменьшении среднего притока до 1,7 км<sup>3</sup>/год – равновесный уровень снизится до отметки 239 м абс, соленость озерных вод увеличится до 92 ‰. При увеличении притока до 2,7 км<sup>3</sup>/год изменение уровня и солености по отношению к современным величинам будут минимальными: равновесная отметка уровня – 245,1 м абс, соленость – 46 ‰.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** коллекторно-дренажные воды, водный баланс, динамико-стохастическая модель, уровенный режим озера, система озер Айдар-Тузкан.

**Финансирование:** стохастическое моделирование выполнено в рамках темы № FMWZ-2022-0001 «Исследования процессов гидрологического цикла суши и формирования водных ресурсов, геофизических процессов в водных объектах и их бассейнах, формирования экстремальных гидрологических явлений и динамики гидрологических систем с учетом изменяющихся климатических условий и антропогенных факторов» государственного задания ИВП РАН; водно-балансовые расчеты и анализ данных метеостанций проведены в рамках темы «Анализ, моделирование и прогнозирование изменений гидрологических систем, водных ресурсов и качества вод суши» (121051400038-1) государственного задания кафедры гидрологии суши МГУ.

**Для цитирования:** Гречушникова М.Г., Фролов А.В., Айбулатов Д.Н. Сценарные характеристики уровенно-минерализационного режима системы озер Айдар-Тузкан // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2023. № 5. С. 5-20. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_5\_1.

Дата поступления 16.10.2022.

© Гречушникова М.Г., Фролов А.В., Айбулатов Д.Н., 2023

## SCENARIO CHARACTERISTICS OF THE AIDAR-TUZKAN LAKE SYSTEM LEVEL/MINERALIZATION REGIME

Maria G. Grechushnikova<sup>1,2</sup> , Anatoliy V. Frolov<sup>1</sup> , Denis N. Aybulatov<sup>2</sup> 

✉ allavis@mail.ru

<sup>1</sup> Russian Academy of Sciences Institute of Water Problems, Moscow, Russia

<sup>2</sup> M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

### ABSTRACT

**Relevance.** This work is devoted to forecasting the level regime of the artificially created Aidarkul-Tuzkan lake system. Water balance of these lakes reflects changes in collector-drainage water inflow regime and water releases from the Chardara reservoir. The relevance of the topic is conditioned by the necessity of assessing prospective changes in the level regime of the Aidarkul-Tuzkan lakes due to construction of the dam that limited water inflow from the Arnasay lakes and the steady regression of water level in the lakes that followed since 2006. Previously made forecasts of the lake system level regime in the existing conditions need to be corrected taking into account a great practical importance of the water body for the region. **Methods.** The problem was solved based on the dynamic-stochastic model of multiyear fluctuations of the level of the drainless water body considering dependence of evaporation from the water area on lake water salinity. **Results.** Under preservation of current average inflow of 2.2 km<sup>3</sup>/year CDW, the water level in the lake will have equilibrium mark 241.9 m abs and lake water salinity 61‰. When the average inflow decreases to 1.7 km<sup>3</sup>/year the equilibrium level will decrease to 239 m abs, the salinity of lake water will increase to 92 ‰. At increase of inflow up to 2.7 km<sup>3</sup>/year level change and salinity in relation to modern values will be minimal: equilibrium level mark will be 245,1 m abs, salinity will be 46 ‰.

**Keywords:** collector-drainage water, water balance, dynamic-stochastic model, lake level regime, climate, Aidar-Tuzkan lake system.

**Financing:** stochastic modeling was performed within the framework of the topic no. FMWZ-2022-0001 “Studies of the land hydrological cycle processes and the formation of water resources, geophysical processes in water bodies and their basins, the formation of extreme hydrological phenomena and dynamics of hydrological systems taking into account changing climatic conditions and anthropogenic factors” of the State task of the IWP RAS; water balance calculations and analysis of weather stations data were carried out within the framework of the topic “Analysis, modeling and forecasting of changes in hydrological systems, water resources and land water quality” (121051400038-1) of the state assignment of the Department of Hydrology of Moscow State University.

**For citation:** Grechushnikova M.G., Frolov A.V., Aybulatov D.N. Scenario characteristics of the Aidar-Tuzkan lake system level/mineralization regime. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2023. No. 5. P. 5-20. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_5\_1.

Received 16.10.2022.

### ВВЕДЕНИЕ

Развитие орошения и освоение земель на аридных территориях в бассейне Аральского моря привело к формированию водоемов-накопителей дренажного стока. На фоне деградации Аральского моря возникли новые водоемы из-за глобального перераспределения водных ресурсов рек. Большое практическое значение имеют задачи прогноза уровенного и солевого режима подобных водоемов, поскольку они стали неотъемлемой частью ландшафта, новыми источниками рыбных запасов [1–3]. В данной статье рассмотрены этапы



и методы сценарной оценки уровня режима системы озер-накопителей Айдар-Тузкан в бассейне р. Сырдарья. Водоем включен в список Рамсарской конвенции водно-болотных угодий.

Айдаро-Арнасайская озерная система – крупнейший водоем на территории Республики Узбекистан. Система озер образовалась в бассейне среднего течения р. Сырдарья, южнее Шардаринского водохранилища (рис. 1). До активного развития орошаемого земледелия на этом пространстве встречались степные эфемерные озера. Крупнейшим водным объектом было оз. Тузкан, питавшееся стоком р. Клы и входящее в настоящее время в озерную систему в виде восточной котловины. Дно Айдаро-Арнасайского понижения занимали высохшие солончаки и шоры.



Рис. 1. Схема района исследований.  
Fig.1. The scheme of the research area.

С 1957 г. поступление коллекторно-дренажных вод по Центральному Голодностепскому каналу постепенно привело к формированию ирригационно-сбросовых озер. Первый этап активного роста площади озерной системы отмечается во второй половине 1960-х годов после завершения строительства Шардаринского водохранилища, пробных сбросов из него и увеличения коллекторно-дренажного притока при освоении новых площадей. В 1969 г. при срезке пика половодья из Шардаринского водохранилища в котловину оз. Айдар было сброшено более 21 км<sup>3</sup> воды из-за ограниченной пропускной способности гидроузла и опасности подтопления ниже по течению освоенных территорий. Озеро Айдар после прорыва перемычки соединилось с оз. Тузкан, образовав единую озерную систему площадью около 2400 км<sup>2</sup> – вторую по размеру в регионе после усыхающего Аральского моря [2]. В дальнейшем до 1993 г. при отсутствии значительных сбросов уровень воды в озерной си-

стеме медленно понижался, а соленость увеличивалась. Стабилизация озерной системы наблюдалась в 1977–1982 гг., когда уровень воды находился на равновесных отметках около 235 м абс. К началу 1990-х годов с увеличением дренажного притока уровень воды повысился примерно на 2,5 м. Очередная фаза подъема уровня в системе озер отмечается с начала 1990-х годов при изменении условий регулирования Токтогульского водохранилища.

Повышение стока в зимние месяцы вызвало необходимость возобновить сбросы воды из Шардаринского водохранилища из-за недостаточной пропускной способности русла Сырдарьи в ее нижнем течении и гидроузла водохранилища. За период 1993–2005 гг. в Арнасайскую систему озер было переброшено 38,34 км<sup>3</sup> пресной воды из Сырдырьи, т. е. Аральское море недополучило из-за данной переброски около 60 км<sup>3</sup> воды, что стало весомым фактором его деградации.

Для аккумуляции и дальнейшего использования пресной воды с целью повышения водообеспеченности орошаемых массивов Голодной степи Арнасайские озера были отделены плотиной от общей системы. Новое водохранилище выведено на нормальный эксплуатационный режим в 2005 г. Центральный Голодностепский коллектор (ЦГК) был продлен до котловины оз. Тузкан для предотвращения притока солоноватых дренажных вод в созданное Верхне-Арнасайское водохранилище, которое пополнялось сбросами пресной воды из Шардаринского водохранилища. Саморегулирующийся водослив из водохранилища имеет отметку 249,0 м абс. В настоящее время в оставшуюся систему озер Айдар-Тузкан из Верхне-Арнасайского водохранилища вода сбрасывается нерегулярно – только при сбросах из Шардаринского водохранилища объемом более 0,5 км<sup>3</sup> [3].

Трансформация водного баланса озерной системы привела к смене регрессивной фазы изменения уровня воды на регрессивную. Наибольшую площадь (3478 км<sup>2</sup>) водоем имел в 2006 г., после чего началось ее сокращение. При снижении уровня воды из-за потерь на испарение увеличивается ее соленость, что вызывает беспокойство за экологическое благополучие как водоема, так и прилегающих территорий. Озерная система является рыбохозяйственным водоемом, с 2008 г. входит в перечень международных охраняемых озер и водно-болотных угодий. Несомненно, водоем придет к новому равновесному уровню в соответствии с гидрологическими условиями.

Опубликованные ранее расчеты и прогнозы водного и солевого баланса озерной системы [1–3], к сожалению, более не актуальны из-за произошедших гидротехнических преобразований. Поэтому проведение новых расчетов и прогнозов уровня режима системы озер Айдар-Тузкан на основе актуализированных современных данных является весьма важной задачей. Многочисленные неблагоприятные последствия усыхания Аральского моря делают оценку дальнейшего развития озерной системы особенно актуальной, поскольку крупный водоем стал природообразующим компонентом ландшафта и экономики региона.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Климат исследуемого района – резко континентальный с холодной, мало-снежной зимой и сухим, жарким летом. Среднегодовой слой осадков над котловиной озерной системы увеличивается с запада на восток от 161,5 мм/год на метеостанции Машикудук до 377 мм/год на метеостанции Джизак (рис. 1). Внутригодовое распределение осадков (максимум в марте-апреле) и их годовая сумма отличаются большой изменчивостью. Наиболее крупные коллекторы, по которым в настоящее время поступает около 2,3 км<sup>3</sup> слабосоленой воды (до 4000 мг/л) – ЦГК, Клы, Акбулак и Пограничный.

Модели оценки многолетних колебаний уровней водоемов на перспективу могут быть статистическими, основанными только на статистических свойствах рядов уровней без учета физического механизма моделируемого процесса в явном виде. Для построения таких моделей используются методы, изложенные, например, в монографиях [4, 5]. Применяются также методы, основанные на коррелятивной связи между колебаниями уровней водоемов и некоторыми геофизическими, метеорологическими и геофизическими процессами, и методы, использующие так называемую «скрытую периодичность» процессов.

Для решения поставленной задачи применен динамико-стохастический подход. Многолетние колебания уровня водоема рассматриваются как результирующий процесс динамической системы, на вход которой поступают стохастические процессы, а именно – основные составляющие водного баланса водоема – приток, осадки и испарение. Динамика этой системы описывается уравнением водного баланса озера, которое включает морфометрические характеристики [6–9]. Для проточных озер необходимо задавать параметры зависимости стока из озера от уровня воды<sup>1</sup>.

Зависимость площади озера от уровня (рис. 2) в общем случае нелинейная, однако для оз. Айдар-Тузкан допускает удовлетворительную линейную аппроксимацию,

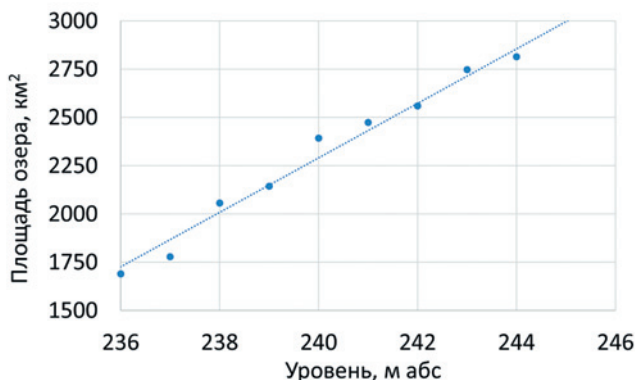
$$F_t = a + bh_t, \quad (1)$$

где площадь  $F_t$  измеряется в кв. км:  $a = 2280$  кв. км,  $b = 147,1$  кв. км/м;  $h_t$  измеряется в метрах от отметки 240 м в Балтийской системе отсчета.

Динамико-стохастическое моделирование уровня озера позволяет получить оценку реакции уровня водоема на изменение количественных характеристик составляющих водного баланса, включая и прогнозные оценки климатического или техногенного влияния.

В условиях бессточности озера поступление слабосоленых коллекторно-дренажных вод приводит к увеличению минерализации озерной воды. Поэтому формирование уровня озера Айдар-Тузкан имеет особенность, обусловленную зависимостью испарения от солености озерной воды. В этом случае для моделирования колебаний уровня воды в озере необходимо использовать два балансовых уравнения: уравнение, описывающее колебание уровня  $h_t$ ,

<sup>1</sup> Озеро Сарыкамыш – водоем-накопитель коллекторно-дренажных вод. АН СССР, ИВП РАН. М.: Наука, 1991. 148 с.



**Рис. 2.** Площадь акватории оз. Айдар-Тузкан как функция уровня воды в озере: черные кружки – натурные данные, прямая линия – линейное приближение.

**Fig. 2.** The Aydar-Tuzkan lake water area as a function of water level in the lake: black circles is field data, straight line is linear approximation.

$$h_t = h_{t-1} + \frac{q_t}{F_t} + p_t - e_t(s_t), \tag{2}$$

и уравнение баланса солей, поступающих в озеро с коллекторно-дренажными водами,

$$M_t = M_{t-1} + q_t s, \tag{3}$$

где  $F_t$  – площадь акватории озера;

$q_t$  – объем притока в озеро;

$p_t$  и  $e_t$  – слой осадков и испарение по акватории за единицу времени  $t$ ;

$M_t$  – масса солей в озере в  $t$ -й год;

$s$  – соленость коллекторно-дренажных вод (КДВ).

Соленость в  $t$ -ом году озерных вод, не достигнувшая насыщения (в нашем случае 350 ‰), вычисляется по формуле:

$$s_t = \frac{M_t}{w_t}, \tag{4}$$

где  $w_t$  – объем воды в озере, приблизительно;  $w_t = 0,0673 h_t^2 - 30,086 h_t + 3361,5$ .

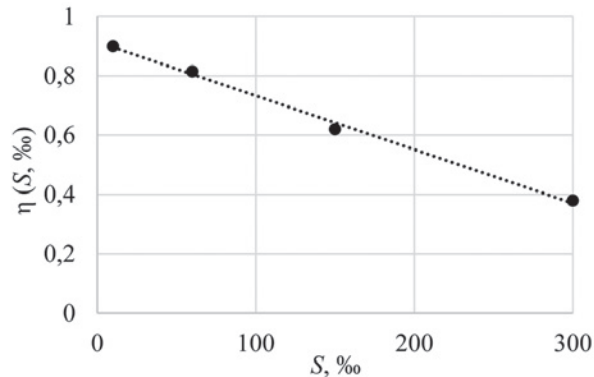
Влияние солености озерных вод на испарение с акватории оценивается величиной коэффициента  $\eta(s)$ , изменяющегося от 1,0 для пресной воды до 0,35 для состояния насыщения (рис. 3).

При построении зависимости  $\eta(s)$  учитывались также результаты работ [11–15].

Следует отметить, что измерение испарения с озерной акватории представляет сложную задачу, требующую учета внутригодового хода определяющих испарение процессов. Поэтому проведенные в рамках данного исследования расчеты дают только первое приближение, качественное представление о развитии моделируемых процессов – колебаний уровня и минерализации вод озерной системы для различных сценариев водного баланса.

Начальная соленость озерных вод  $s_0$  принималась равной 10 ‰, минерализация коллекторно-дренажных вод – величиной  $s = 4$  ‰ в соответствии с данными полевых измерений 2019–2020 гг.





**Рис. 3.** Зависимость коэффициента испарения  $\eta(S)$  от солености  $S$  ‰: точки – результаты эксперимента (по [10]), линия – линейная аппроксимация зависимости.

Fig. 3. Dependence of evaporation coefficient  $\eta(S)$  on salinity  $S$  ‰: points – experimental results (according to [10]), line – linear approximation of dependence.

Составляющие водного баланса озера, входящие в (1), обычно моделируются авторегрессионными (марковскими) процессами первого порядка (обозначаются  $AR(1)$ ),

$$q_t = p_q q_{t-1} + w_t^{(q)}, \quad (5)$$

$$p_t = p_p p_{t-1} + w_t^{(p)}, \quad (6)$$

$$e_t = p_e e_{t-1} + w_t^{(e)}, \quad (7)$$

где  $p_{(*)}$  – параметры авторегрессии;  $w_{(*)}^{(*)}$  – белые шумы, «звездочка» представляет идентификатор соответствующих процессов. Предполагается, что, в общем случае процессы (4) – (6) взаимно коррелированы с коэффициентами взаимной корреляции  $r_{qp}, r_{pe}, r_{qe}$ . Уравнения (5) – (7) обеспечивают совпадение основных статистических характеристик – средних, дисперсий, коэффициентов авто- и взаимной корреляции моделируемых рядов с соответствующими параметрами составляющих водного баланса озера, полученными по натурным рядам.

Чтобы избежать упрощений, сопровождающих получение аналитического решения, система (5) – (7) решалась численно с использованием метода Монте-Карло (метод имитационного моделирования). Информационную основу моделирования составили данные о морфометрии и водном балансе оз. Айдар-Тузкан.

При стационарном климате и стационарном техногенном воздействии на водный баланс озера, колебания уровня воды, рассматриваемые в достаточно длительном интервале времени, происходят относительно некоторой отметки  $h^*$ , которую принято называть равновесной (или «уровнем тяготения»):

$$h^* = \frac{\langle q \rangle - a(\langle e \rangle - \langle p \rangle)}{be}, \quad (8)$$

где  $b$  – числовой коэффициент из линейной аппроксимации зависимости площади акватории от уровня воды в озере (1), имеющий смысл изменения площади озерной акватории при изменении уровня водоема на 1 м;  $\langle q \rangle$  – математическое

тическое ожидание (м.о.) суммарного притока в озеро, угловые скобки здесь и в дальнейшем означают операцию статистического усреднения;  $\langle e \rangle - \langle p \rangle$  – разность м.о. слоев испарения и осадков по акватории, обычно называется эффективным испарением;  $a$  – числовой коэффициент из зависимости (1). Для озер аридной и полуаридной зон испарение превышает осадки,  $\langle e \rangle - \langle p \rangle > 0$ .

Одна из основных характеристик многолетнего уровня озера – параметр инерционности колебаний уровня  $\alpha$ , название, принятое советскими и российскими специалистами:

$$a = \frac{b \langle q \rangle}{(F^*)^2} = \frac{b(\langle a \rangle - \langle p \rangle)}{F^*}. \quad (9)$$

Математически строго выражение (8) получено С.В. Музылевым [6]. Формула (8) связывает морфометрию и составляющие водного баланса озера – притока в водоем, осадков и испарения по акватории. Применительно к моделированию многолетних колебаний уровня оз. Айдар-Тузкан, в силу нормализации его колебаний уровня вследствие малости параметра инерционности  $a$ , процессы (5) – (7) принимаются гауссовыми.

Моделирование марковских последовательностей (6) и (7) с заданными статистическими характеристиками (средними, дисперсиями, коэффициентами авто- и взаимной корреляции) проводилось на основе метода, изложенного в [16]. Для применения этого метода необходимо получить оценки статистических характеристик (средних, дисперсий, коэффициентов авто- и взаимной корреляции) по рядам наблюдаемых данных.

Атмосферные осадки на зеркало озера, согласно предшествующим исследованиям [2], составляли в среднем 8 % от приходной части водного баланса, в отдельные годы их доля увеличивалась до 20 %. Подземный приток по данным исследований «Средазгипроводхлопка» оценивался в 0,7 % приходной части водного баланса [3]. Основная составляющая расходной части водного баланса – испарение, подземный отток соответствует величине подземного притока, поэтому эту составляющую в расчетах водного баланса не учитывали.

Над крупными водоемами количество осадков может уменьшаться из-за образования устойчивой стратификации, следовательно, при использовании данных наземных метеостанций необходимо выполнять коррекцию [17]. В наличии имелись ряды ежедневных сумм осадков по пяти метеостанциям: Галляарал (571 м абс), Джизак (345 м абс), Дустлик (272 м абс), Янгикишлак (514 м абс) за период 1970–1975 гг. и Западный Арнасай (250 м абс) с июня 2012 г. (рис. 1). Последний пункт имеет первостепенное значение из-за своего расположения, полученные с него данные являются наиболее репрезентативными для условий над водоемом, причем не только в отношении осадков. Сравнение с данными измерений осадков на перечисленных выше наземных метеостанциях за период синхронных наблюдений выявило, что на метеостанции Западный Арнасай их количество на 27–42 % меньше. Для приведения ряда осадков Западного Арнасай к многолетнему периоду использованы данные метеостанции Янгикишлак:  $y = 0,6912x + 7,7005$  (коэффициент корреляции значим при  $p = 0,05$ ). Для остальных метеостанций коэффициент

корреляции не значим. Восстановленные значения проверены по данным [3]: ряд среднегодовых сумм осадков за период 2000–2010 гг. по метеостанциям Машикудук, Нурота, Джизак, Дуслик и Янгикишлак имеет коэффициент корреляции с восстановленным рядом по Западному Арнасаю 0,76, что значимо для  $p = 0,01$ .

Приток коллекторно-дренажных вод является в настоящее время первой по значимости компонентой приходной части водного баланса<sup>2</sup>. В работе использована информация о годовом коллекторном притоке каналов Акбулак, Клы, Пограничный и ЦГК по данным для замыкающих створов Управления мелиорации Министерства водного хозяйства Республики Узбекистан.

Расчет испарения производили по формуле ГТИ [17], для оценки адекватности полученных результатов использованы данные наземных испарителей на станциях Галляарал, Дагбит, Тюябугуз и Чимкуртан. Рекомендованный в Указаниях по расчету испарения [17] метод приведения данных наземных метеостанций к условиям над водной поверхностью при сравнении с данными метеостанции Западный Арнасай не дал удовлетворительных результатов. Поэтому расчет испарения для периода отсутствия данных метеостанции Западный Арнасай (до 2013 г.) выполнен по комбинированным метеоданным, полученным авторами. Среднемесячная температура воздуха над водоемом принята по средней температуре на станциях Джизак и Дуслик, поскольку ее значения практически совпадают с измерениями на Западном Арнасае ( $r = 0,99$ ,  $n = 91$ ). Использована скорость ветра со станции Янгикишлак ( $r = 0,4$ ,  $n = 91$ ), а влажность воздуха рассчитана как среднее парциальное давление водяного пара на станциях Галляарал, Янгикишлак, Джизак и Дуслик. Использована температура воды г/п Западный Арнасай с введением поправок, рекомендованных в [15].

В итоге за период наблюдений на Западном Арнасае (2013–2019 гг.) расчетная величина слоя испарения по данным метеостанции составила в среднем 1098 мм, расчет по комбинированным данным за этот же период – 1102 мм. По наблюдениям на испарителях на станциях Галляарал, Дагбит, Тюябугуз и Чимкуртан за 2013–2019 гг. испарение составило 1284, 1167, 993 и 1314 мм соответственно. Следовательно, предложенный расчетный метод удовлетворительно воспроизводит величину потерь воды на испарение. Отличающееся значение по данным метеостанции Чимкуртан связано с большой удаленностью испарителя к югу от района исследований.

Значения годового водного баланса для периода 2007–2018 гг., рассчитанные с использованием полученных рядов осадков и притока, приведены в табл. 1. Зависимости площади и объема озерной системы от уровня воды (по данным г/п Западный Арнасай) получены по результатам обработки батиметрической съемки в 2019 г. Большие невязки в некоторые годы связаны, вероятнее всего, с неточным определением перетока воды через плотину из Верхне-Арнасайского водохранилища и погрешностями учета коллекторно-дренажных вод в близких к устьям каналов створах [18].

<sup>2</sup> Экспедиционное обследование Айдаро-Арнасайской системы озер в период с 21 сентября по 5 октября 2011 года. НИЦ МКВК, Госкомприроды, Институт зоологии АН РУз. Ташкент, 2011. 77 с.

**Таблица 1.** Годовые значения составляющих водного баланса системы озер Айдар-Тузкан за период 2007–2017 гг.  
Table 1. Annual values of the water balance components of the Aidar-Tuzkan lakes system for the 2007–2017 period

Год	КДВ, км <sup>3</sup>	АО, км <sup>3</sup>	Е, км <sup>3</sup>	ВАВ, км <sup>3</sup>	ΣП–ΣР	ΔW, км <sup>3</sup>	N, км <sup>3</sup>	N, %
2007	2,18	0,85	3,51	0,392	–0,09	–0,52	0,43	12,2
2008	1,85	0,57	3,75	0,648	–0,67	–1,16	0,48	12,9
2009	2,53	0,91	3,43		0,00	–0,45	0,45	13,3
2010	2,82	0,60	3,74	0,554	0,24	0,09	0,15	3,7
2011	2,25	0,88	3,56		–0,43	–0,72	0,28	7,9
2012	2,39	0,60	3,04	1,316	1,27	0,60	0,67	15,6
2013	2,20	0,69	2,88		0,01	–0,63	0,64	22,0
2014	2,10	0,71	3,19		–0,38	–0,41	0,04	1,1
2015	2,18	0,76	3,48	0,028	–0,51	–1,31	0,80	23,1
2016	2,22	0,63	3,63		–0,78	–0,69	–0,09	–2,5
2017	2,58	0,74	4,03	1,918	1,21	1,27	–0,06	–1,1

*Примечание:* КДВ – приток коллекторно-дренажных вод; АО – атмосферные осадки; Е – испарение; ВАВ – переток из Верхне-Арнасайского водохранилища; ΔW – изменение объема воды в системе; ΣП–ΣР – разность приходных и расходных компонентов баланса; N – невязка баланса.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Применение описанного выше метода к моделированию составляющих водного баланса оз. Айдар-Тузкан дает последовательности годовых величин притока коллекторно-дренажных вод, осадков и испарения по акватории озера. Смоделированные последовательности составляющих водного баланса имеют статистические характеристики, совпадающие с величинами, полученными по натурным данным (табл. 2). Расчеты среднегодового уровня воды проведены в допущении, что при снижении уровня не будет происходить отсечения заливов и котловин, т. е. будет сохраняться водообмен между котловинами Айдар и Тузкан. Для озера Айдар-Тузкан, применительно к водному балансу в табл. 2,  $a = 0,08 \text{ год}^{-1}$ . Для сравнения, этот параметр для Каспийского моря в бессточном режиме (при отсеченном заливе Кара-Богаз-Гол) равен  $0,03 \text{ год}^{-1}$ . Прогноз выполнен при наиболее неблагоприятном сценарии: при отсутствии притока воды из Верхне-Арнасайского водохранилища. Начальное положение уровня принято равным среднегодовому на 2019 г. На рис. 4 представлены результаты расчетов уровня воды системы озер Айдар-Тузкан. Площадь акватории, отвечающая равновесной отметке уровня  $h^*$ ,  $F^* = F(h^*)$ , называется равновесной. Для водного баланса озера, представленного в табл. 2,  $h^* = 238,6 \text{ м}$ ,  $F^* = 2071 \text{ км}^2$ .

Внедрение водосберегающих технологий и прогрессивной техники полива в сельском хозяйстве (ст. 50 Закона о воде и водопользовании Узбекиста-



на), поощряемые налоговыми и кредитными льготами, замена производимых сельхозкультур могут привести к сокращению притока коллекторно-дренажных вод и обмелению озера. Поэтому в прогнозные сценарии включили уменьшение притока на  $0,5 \text{ км}^3$ . С другой стороны, гидротехническое строительство в верхней части бассейна Сырдарьи может повлечь изменение внутригодового притока к Шардарьинскому водохранилищу, а именно увеличение зимнего стока, что наоборот, может стать причиной увеличения сбросов в Верхне-Арнассайское водохранилище и усиления перетока воды в систему Айдар-Тузкан. Поэтому дополнительно было рассмотрено увеличение притока на  $0,5 \text{ км}^3$ .

Статистический анализ рядов не выявил значимых трендов метеорологических характеристик по имевшимся рядам наблюдений, поэтому климатический форсинг в модели отсутствовал.

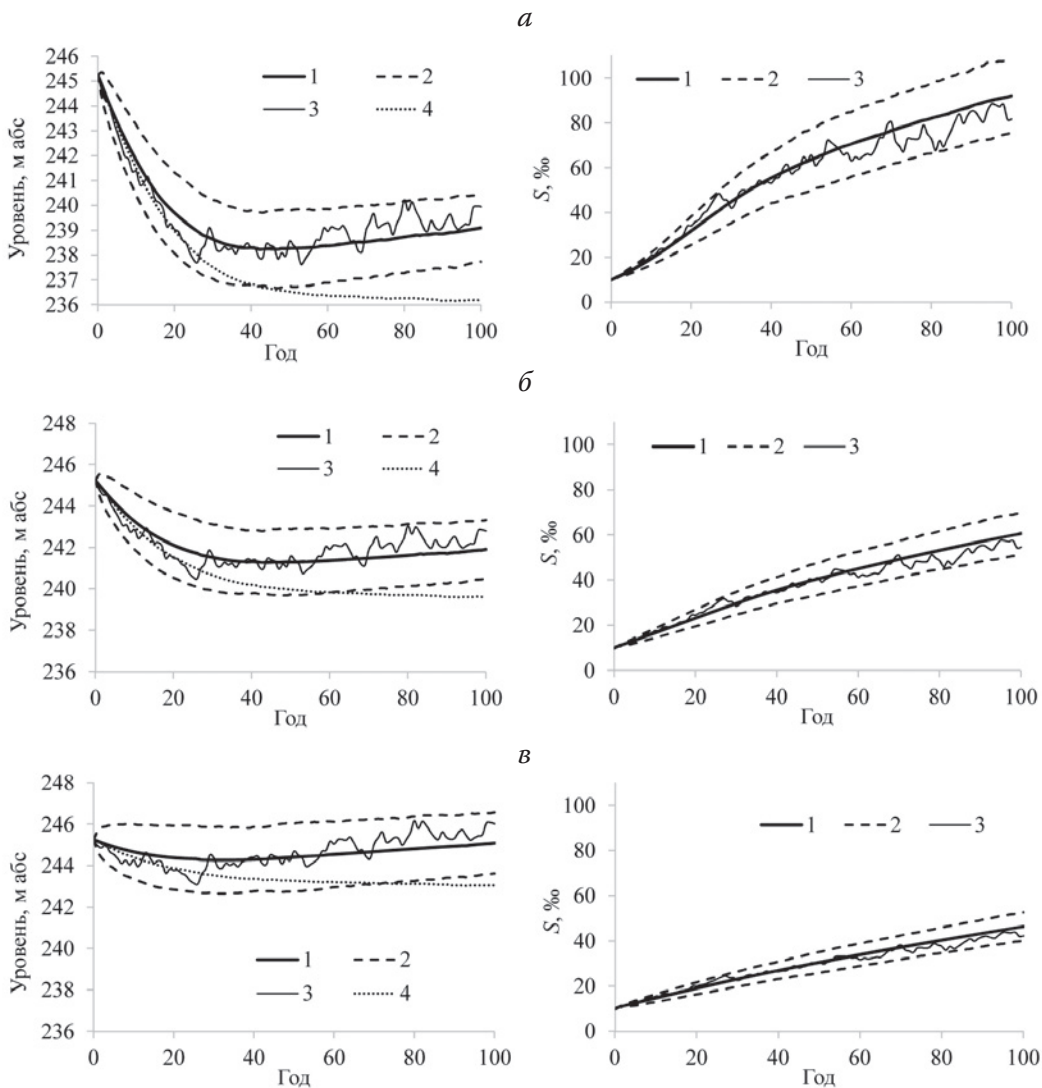
**Таблица 2.** Выборочные оценки статистических характеристик составляющих водного баланса оз. Айдар-Тузкан по интервалу 1995–2017 гг.  
Table 2. Selective estimates of statistical characteristics of the components of the lake Aidar-Tuzkan water balance in the 1995–2017 interval

Составляющие водного баланса	Характеристики составляющих водного баланса					
	Среднее	Дисперсия	Коэффициент автокорреляции	Матрица коэффициентов взаимной корреляции		
				Приток КДВ	Осадки	Испарение
Приток коллекторно-дренажных вод, $\text{км}^3/\text{год}$	2,20	0,160	0,52	1,00	0,20	0,0
Осадки, м/год	0,25	0,041	0,14		1,00	0,0
Испарение, м/год	1,30	0,019	0,28			1,00

На рис. 4 хорошо видно влияние на ход м.о. уровней зависимости испарения с озерной акватории от солености вод озера. Отметим, что на рис. 4 приведены примеры возможного хода реальных уровней и солености, изменяющихся почти полностью в пределах 95 % доверительных интервалов (выход за пределы этих интервалов допустим, но не должен превышать 5 %). При этом реальные уровни и солености могут заметно отличаться от их математического ожидания.

Максимальная разность 3,1 м между уровнями, рассчитанными с учетом и без учета солености вод озера, влияющей на испарение, достигается для варианта с минимальным средним притоком коллекторно-дренажных вод, равным  $1,7 \text{ км}^3/\text{год}$  (рис. 4а, графики уровней). При среднем притоке, равном  $2,7 \text{ км}^3/\text{год}$  (рис. 4в, графики уровней) аналогичная разность между уровнями с учетом и без учета солености составляет около 2 м, причем диапазон изменения м.о. уровня для соленого озера всего около 1 м.

При сохранении современного среднего притока коллекторно-дренажных вод  $2,2 \text{ км}^3/\text{год}$ , уровень воды в озере в перспективе будет иметь равновесную



**Рис. 4.** Характеристики уровня и солености воды в оз. Айдаркуль для вариантов среднего притока коллекторно-дренажных вод: *а* – 1,7 км<sup>3</sup>/год; *б* – 2,2 км<sup>3</sup>/год; *в* – 2,7 км<sup>3</sup>/год. На графиках: 1 – математические ожидания (м.о.) уровня и солености; 2 – границы 95 % доверительных интервалов для м.о. уровня и солености; 3 – примеры реализаций уровня и солености озера; 4 – м.о. уровня без учета влияния солености на испарение. Статистические характеристики осадков и испарения по акватории озера приняты одинаковыми для всех вариантов расчетов (см. табл. 2).

Fig. 4. Characteristics of water level and salinity in Lake Aidarkul for variants of average collector-drainage water inflow: *a* – 1.7 km<sup>3</sup>/year; *b* – 2.2 km<sup>3</sup>/year; *v* – 2.7 km<sup>3</sup>/year. On the graphs: 1 – mathematical expectations (m.e.) of level and salinity; 2 – limits of 95% confidence intervals for m.e. level and salinity; 3 – examples of lake level and salinity realizations; 4 – m.e. level without considering salinity effects on evaporation. Statistical characteristics of precipitation and evaporation over the lake water area are assumed the same for all variants of calculations (see Table 2).

отметку 241,9 м абс и  $s - 61 \%$ . При уменьшении среднего притока до  $1,7 \text{ км}^3/\text{год}$  – равновесный уровень снижается до отметки 239 м абс,  $s$  увеличивается до  $92 \%$ . При увеличении притока до  $2,7 \text{ км}^3/\text{год}$  изменения уровня и  $s$  по отношению к современным величинам будут минимальными – равновесная отметка уровня – 245,1 м абс,  $s - 46 \%$ .

Результаты расчетов показывают зависимость солености озерной воды от величины среднего притока коллекторно-дренажных вод: чем меньше эта величина, тем больше соленость вод озера.

Обсыхание значительных площадей солоноватого озера, являющегося приемником коллекторно-дренажных вод, может повлечь проблемы, аналогичные ситуации в Приаралье, а именно – изменение климата прибрежных территорий, пыльные бури, разносящие песок с накопленными загрязняющими веществами, рост респираторных, офтальмологических и онкологических заболеваний. Исследование системы озер является актуальной проблемой для научного сообщества Узбекистана. В работе [19] подчеркивается, что для стабилизации режима озерной системы в современном состоянии необходимы ежегодные сбросы воды из Шардарьинского водохранилища в размере  $1,5-1,7 \text{ км}^3$ .

В качестве альтернативы предложенному способу моделирования следует упомянуть и другие методы расчета составляющих водного баланса. Для их определения необходимо использовать данные климатических прогнозов сумм осадков, температуры воздуха и скорости ветра. Основная проблема данного подхода состоит в том, что для расчета слоя испарения нужно знать показатели температуры поверхности воды водоема, следовательно, для соответствия ее значений ожидаемым климатическим изменениям следует дополнительно привлекать модели, воспроизводящие гидрологический режим водоемов [20]. Таким образом, необходимо выбрать и откалибровать модель по данным натурных измерений, которые имеются далеко не для всех водоемов. Данный подход, например, был реализован для Ладожского и Онежского озер [21], Великих американских озер с использованием климатических и гидрологических моделей [22], а также в ряде работ, посвященных прогнозам изменения режима озер и водохранилищ, например в [23, 24]. При разработке надежной откалиброванной модели для исследуемого объекта данный подход расширит возможности перспективного определения уровня режима с применением прогнозов по различным климатическим и водохозяйственным сценариям.

## ВЫВОДЫ

Отделение Верхне-Арнасайского водохранилища привело с 2006 г. к наступлению регрессивной фазы уровня воды искусственно созданной системы озер Айдаркуль-Тузкан. При сохранении объема притока коллекторно-дренажных вод и отсутствии значительных изменений климата региона за 100-летний период можно ожидать снижения равновесного уровня до отметки около 241,9 м абс, что почти на 3 м ниже современной отметки. При этом площадь акватории уменьшится примерно на  $16 \%$ . Положение уровня, как следует из результатов расчетов, может заметно отличаться от его математического ожидания (до 1,5 м при  $95 \%$  доверительном интервале).

Сценарные расчеты показали, что при сокращении притока на  $0,5 \text{ км}^3/\text{год}$  равновесный уровень снизится на 6 м, что весьма вероятно при внедрении водосберегающих технологий и прогрессивной техники полива в сельском хозяйстве Узбекистана. Увеличение притока коллекторно-дренажных вод на  $0,5 \text{ км}^3/\text{год}$  в случае увеличения площади орошаемых земель приведет к снижению равновесного уровня в первые десятилетия на 1 м. К концу столетнего периода при этом сценарии уровень воды вернется к современной отметке, при этом ее соленость увеличится в четыре раза по сравнению с начальной 10 ‰.

Для решения проблемы обсыхания, эолового выноса солей и стабилизации уровня режима необходимо продолжать регулярную подпитку системы озер Айдаркуль-Тузкан водой из Шардаринского водохранилища через Верхне-Арнасайское водохранилище.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Видинеева Е.М. Гидрохимический режим и солевой баланс некоторых водохранилищ Средней Азии: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Ташкент: ТашГУ, 1974. 188 с.
2. Горелкин Н.Е. Гидрометеорологический, гидрохимический режим и прогноз водно-солевого баланса Арнасайской озерной системы: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Ташкент: ТашГУ, 1985. 164 с.
3. Горелкин Н.Е., Никитин А.М. Водный баланс Арнасайской озерной системы // Труды САРНИГМИ. 1976. Вып. 39(120). С. 76–93.
4. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов, прогноз и управление. М.: Мир, 1974. Вып. 1. 406 с.
5. Привальский В.Е., Панченко В.А., Асарина Е.А. Модели временных рядов. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. 226 с.
6. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Колебания уровня замкнутых водоемов // Труды Гидропроекта. Энергия. 1964. Сб. 12. С. 29–61.
7. Музылев С.В., Привальский В.Е., Раткович Д.Я. Стохастические модели в инженерной гидрологии. М.: Наука, 1982. 283 с.
8. Румянцев В.А., Трапезников Ю.А. Стохастические модели гидрологических процессов. М.: Наука, 2008. 152 с.
9. Санин М.В., Алишеров Н.Б., Фролов А.В. Динамико-стохастическое моделирование процессов заполнения бессточных водоемов // ДАН СССР. 1991. Т. 316. № 6. С. 1472–1475.
10. Бобров С.Б. Испарение морской воды в зависимости от солености // Труды института океанологии. 1960. Т. 37. С. 161–163.
11. Багров Н.А. О колебаниях уровня бессточных озер // Метеорология и гидрология. 1963. № 6. С. 41 – 46.
12. Буиневич Д.В., Буйневич Н.А. Испарение с поверхности залива Кара-Богаз-Гол // Метеорология и гидрология. 1963. Т. 95. Вып. 5. С. 459–460.
13. Миронова Н.Я. Водный баланс залива Кара-Богаз-Гол // Труды института океанологии. 1960. Т. 37. С. 110–122.
14. Панин Г.Н., Брезгунов В.С. О влиянии солености воды на ее испарение // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2007. Т. 43. № 5. С. 718–720.
15. Фролов А.В., Выручалкина Т.Ю., Саркисян С.Г. Моделирование водно-солевого баланса Большого Яшалтинского озера // Водные ресурсы. 2018. Т. 45. № 3. С. 1–9.
16. Фролов А.В., Выручалкина Т.Ю., Соломонова И.В. Моделирование негауссова случайного процесса в приложении к гидрологии // Водные ресурсы. 2014. Т. 41. № 6. С. 1–6.
17. Кузнецов В.И., Голубев В.С., Федорова Т.Г. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. Л.: Гидрометеоиздат, 1969. 85 с.
18. Чембарисов Э.И., Махмудов И.Э., Лесник Т.Ю., Беликов И.В., Вахидов Ю.С. Гидрологический и гидрохимический режимы коллекторно-дренажных вод, впадающих в Айдаро-Арнасайскую озерную систему // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2016. № 1(61). С. 191–196.



19. Туйназарова И. А, Тошпулатова С.А. Оценка современного состояния Айдаро-Арнасайской системы озер и возможные изменения гидрометеорологического режима на перспективу // Дальневосточная весна – 2018: мат-лы 16-й Межд. научно-практ. конф. по проблемам экологии и безопасности. Комсомольск-на-Амуре, 2018. С . 288–292.
20. Гречушников М.Г. Результаты численного моделирования изменения режима Можайского и Истринского водохранилищ при реализации сценария А2 глобального потепления // Метеорология и гидрология. 2014. № 3. С. 86–96.
21. Rukhovets L.A., Filatov N.N. Ladoga and Onega – Great European Lakes: Observation and Modeling, Springer-Praxis Publishing, 2010, 320 p.
22. Angel J.R., Kunkel K.E. The response of Great Lakes water levels to future climate scenarios with an emphasis on Lake Michigan-Huron, Journal of Great Lakes Research, Supplement 2, 2009. Vol. 36. P. 51–58.
23. Гречушников М.Г. Возможные климатические изменения гидрологического режима в длинных водохранилищах // Метеорология и гидрология. 2012. № 10. С. 71–80.
24. Su D., Hu X., Wen L., Lyu S., Gao X., Zhao L., Li Zh., Du J., Kirillin G. Numerical study on the response of the largest lake in China to climate change // Hydrology and Earth System Sciences. 23. 2093-2109. 10.5194/hess-23-2093-2019.

## REFERENCES

1. Vidineyeva E.M. Hydrochemical regime and salt balance of some reservoirs of Central Asia. Avtoref. diss.... kand geogr. nauk. Tashkent: TashGU, 1974. 188 p. (In Russ.).
2. Gorelkin N.E. Hydro/meteorological, hydrochemical regime and a forecast of the water/saline balance of the Arnasay lake system. Avtoref. diss.... kand geogr. nauk. Tashkent: TashGU, 1985. 164 p. (In Russ.).
3. Gorelkin N.E., Nikitin A.M. The Arnasay lake system water balance. *Proceedings of SARNIGMI*. 1976. Vyp. 39(120). P. 76–93 (In Russ.).
4. Box G., Jenkins F. Analysis of time series, forecast and management. M.: Mir, 1974. Vyp. 1. 406 p. (In Russ.).
5. Privalskiy V.E., Panchenko V.A., Asarina E.A. Models of time series. SPb.: Gidrometeoizdat, 1992. 226 p. (In Russ.).
6. Kritskiy S.N., Menkel M.F. Closed water bodies' level fluctuations. *Hydroproject proceedings. Energy*. 1964. Collection 12. P. 29–61 (In Russ.).
7. Muzilev S.V., Privalskiy V.E., Ratkovich D.Y. Stochastic models in engineering hydrology. M.: Nauka, 1982. 283 p. (In Russ.).
8. Runyantsev V.A., Trapeznikov Y.A. Stochastic models of hydrological processes. M.: Nauka, 2008. 152 p. (In Russ.).
9. Sanin M.V., Alisherov N.B., Frolov A.V. Dynamic/stochastic simulation of the processes of internal drainage water bodies' filling. *DAN SSSR*. 1991. Vol. 316. No. 6. P. 1472–1475 (In Russ.).
10. Bobrov S.B. Sea water evaporation depending on salinity. *Proceedings of the Institute of Oceanology*. 1960. Vol. 37. P. 161–163 (In Russ.).
11. Bagrov N.A. About fluctuations of the internal-drainage lakes' level. *Meteorology and hydrology*. 1963. No. 6. P. 41–46 (In Russ.).
12. Buynevich D.V., Buynevich N.A. Evaporation from the Kara-Bogaz-Gol Bay surface. *Meteorology and hydrology*. 1963. Vol. 95. Vyp. 5. P. 459–460 (In Russ.).
13. Mironova N.Y. The Kara-Bogaz-Gol Bay water balance. *Proceedings of the Institute of oceanology*. 1960. Vol. 37. P. 110–122 (In Russ.).
14. Panin G.N., Brezgunov V.S. About the water salinity impact on its evaporation. *Izvestia RAN. Fizika atmosfery i okeana. News bulletin of RAS. Physics of the atmosphere and the ocean*. 2007. Vol. 43. No. 5. P. 718–720 (In Russ.).
15. Frolov A.V., Vyruchalkina T.Y., Sarkisyan S.G. Modelling of water/salinity balance of the Lake Bolshoy Yashaltinskiy. *Water resources*. 2018. Vol. 45. No. 3. P. 1–9 (In Russ.).
16. Frolov A.V., Vyruchalkina T.Y., Solomonova I.V. Modelling of non-Gaussian random process in application to hydrology. *Water resources*. 2014. Vol. 41. No. 6. P. 1–6 (In Russ.).
17. Kuznetsov V.I., Golubev V.S., Fedorova T.G. Guidelines on calculation of evaporation from a water body surface. L.: Gidrometeoizdat, 1969. 85 p. (In Russ.).

18. Chembarisov E.I., Makhmudov I.E., Lesnik T.Y., Belikov I.V., Vakhidov Y.S. Hydrological and hydrochemical regimes of collector-drainage waters inflowing into the Aydar-Arnasay lake system. *The ways of increasing the effectiveness of irrigated farming*. 2016. No. 1(61). P. 191–196 (In Russ.).
19. Tuynazarova I.A., Toshpulatova S.A. Assessment of the Aydar-Arnasay lake system current state and possible changes of the hydro/meteorological regime in the prospect. *Far-Eastern Spring-2018. Proceedings of 16th International scientific-practical conference on the problems of ecology and safety*. Komsomolsk-on-Amur. 2018. P. 288–292 (In Russ.).
20. Grechushnikova M.G. Results of numerical modelling of the Mozhaysk and Istra reservoirs regime changes in case of implementation of A2 scenario of global warming. *Meteorology and hydrology*. 2014. No. 3. P. 86–96 (In Russ.).
21. Rukhovets L.A., Filatov N.N. Ladoga and Onega – Great European Lakes: Observation and Modeling, Springer-Praxis Publishing, 2010, 320 p.
22. Angel J.R., Kunkel K.E. The response of Great Lakes water levels to future climate scenarios with an emphasis on Lake Michigan-Huron. *Journal of Great Lakes Research*. Supplement 2, 2009. Vol. 36. P. 51–58.
23. Grechushnikova M.G. Possible climate changes of hydrological regime in valley reservoirs. *Meteorology and hydrology*. 2012. № 10. С. 71–80.
24. Su D., Hu X., Wen L., Lyu S., Gao X., Zhao L., Li Zh., Du J., Kirillin G. Numerical study on the response of the largest lake in China to climate change. *Hydrology and Earth System Sciences*. 23. 2093-2109. DOI: 10.5194/hess-23-2093-2019.

#### **Сведения об авторах:**

**Гречушникова Мария Георгиевна**, канд. геогр. наук, ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук», Россия, Москва, ул. Губкина д. 3; географический факультет, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»; ORCID: 0000-0001-6376-2473; e-mail: allavis@mail.ru

**Фролов Анатолий Васильевич**, д-р техн. наук, ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук», Россия, Москва, ул. Губкина д. 3; ORCID: 0000-0002-0944-0526; e-mail: anatolyfrolov@yandex.ru

**Айбулатов Денис Николаевич**, канд. геогр. наук, географический факультет, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»; ORCID: 0000-0002-0180-8496; e-mail: gidroden@mail.ru

#### **About the authors:**

**Maria G. Grechushnikova**, Candidate of Geographical Sciences, Institute of Water Problems of the Russian Academy of Science, Moscow, Gubkina st. 3; Geographical faculty of Moscow State University, Moscow, Russia; ORCID: 0000-0001-6376-2473; e-mail: allavis@mail.ru

**Anatoliy V. Frolov**, Doctor of Technical Sciences, Institute of Water Problems Russian Academy of Science, Moscow, Gubkina st. 3; ORCID: 0000-0002-0944-0526; e-mail: anatolyfrolov@yandex.ru

**Denis N. Aybulatov**, Candidate of Geographical Sciences, Geographical faculty of Moscow State University, Moscow, Russia; ORCID: 0000-0002-0180-8496; e-mail: gidroden@mail.ru

## Сравнительная оценка первичной продукции наземных и водных экосистем

**В.В. Бульон**

✉ vboulion@mail.ru

ФГБУН «Зоологический институт Российской академии наук»,  
Санкт-Петербург, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** Продуктивность водных экосистем в значительной степени зависит от функционирования наземных экосистем. Представлена модель «озеро и его водосбор» для оценки потока вещества и энергии в озерных экосистемах, находящихся в окружении наземной растительности. **Методы.** Разработанная модель состоит из трех блоков: биомасса/продукция растительности на водосборной площади, фосфорный бюджет водоема и биомасса/продукция фитопланктона. Модель Майями дополнена описанием процесса минерализации продукции растительности на водосборной площади и выноса освободившихся биогенных элементов в водоем. **Результаты.** Установлена зависимость первичной продукции внутренних водоемов и наземных экосистем от географической широты. Уравнения регрессий отражают следующую закономерность: на низких широтах, вблизи экватора, значения первичной продукции внутренних водоемов и наземных экосистем мало различаются и приближаются к своему максимуму, в направлении высоких широт они непропорционально уменьшаются.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** озеро, водосбор, географическая зональность, факторы среды, биотический поток вещества и энергии.

**Для цитирования:** Бульон В.В. Сравнительная оценка первичной продукции наземных и водных экосистем // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2023. № 5. С. 21-33. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_5\_2.

Дата поступления 21.02.2023.

## COMPARATIVE ASSESSMENT OF PRIMARY PRODUCTION IN TERRESTRIAL AND AQUATIC ECOSYSTEMS

**Victor V. Boulion**

Zoological Institute, RAS, St. Petersburg, Russia

✉ vboulion@mail.ru

### ABSTRACT:

**Relevance.** The aquatic ecosystems' production significantly depends on functioning of terrestrial ecosystems. The article presents the "lake and its catchment" model for assessment of the matter and energy flow in lacustrine ecosystems surrounded with terrestrial vegetation. **Methods.** The developed model comprises three units: biomass/production of the vegetation on the catchment territory, phosphorus budget of a water body, and biomass/production of phytoplankton. Miami model has been supplemented with the description of vegetation production mineralization process on the catchment and the emitted biogens transfer into the water body. **Results.** We have stated the dependence of the inland water bodies' and terrestrial ecosystems primary production on their geographical latitude. Regression equations reflect

© Бульон В.В., 2023

the following regularity: at low latitudes, near the equator, values of inland water bodies and terrestrial ecosystems primary production differ slightly and are near to their maximum while in the direction of high latitudes the non-proportionally decrease.

**Keywords:** lake, catchment area, geographical zoning, environmental factors, biotic flow of matter and energy.

**For citation:** Boulion V.V. Comparative Assessment of Primary Production in Terrestrial and Aquatic Ecosystems. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2023. No. 5. P. 21-33. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_5\_2.

Received 21.02.2023.

## ВВЕДЕНИЕ

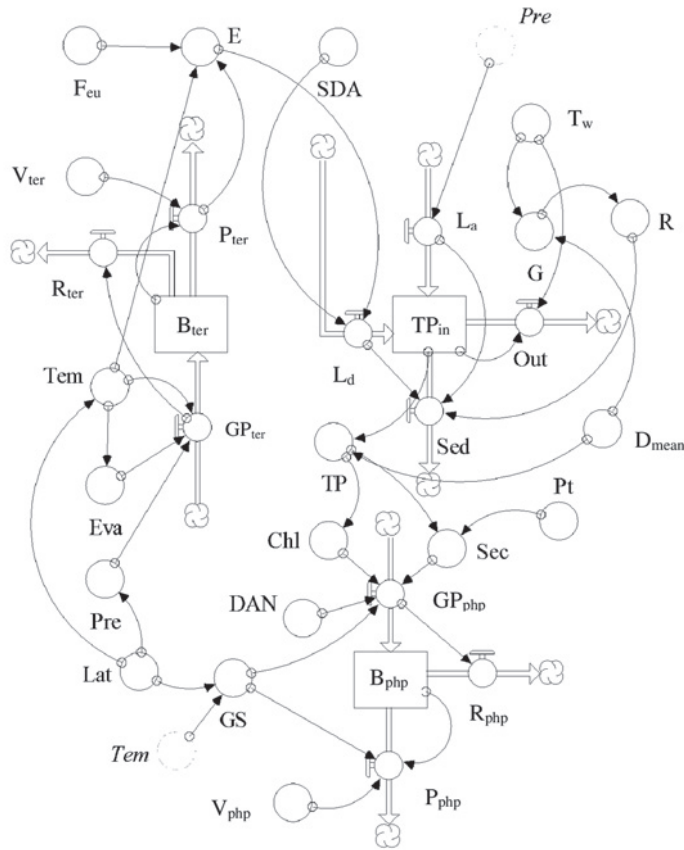
Наземная растительность – ключевой компонент биосферы, ее продукция играет первостепенную роль в углеродном цикле и формировании биологической продуктивности внутренних водоемов, обеспечивая их органическими и минеральными веществами. Существуют три основных подхода к мониторингу и прогнозированию первичной продукции суши: полевые измерения, включающие кадастр наземной фитомассы и метод вихревой ковариации; спутниковые наблюдения и экосистемное биоклиматическое моделирование [1–5]. Модель Майами – одна из первых и наиболее популярных разработок для оценки чистой первичной продукции наземной растительности ( $P_{ter}$ ) в глобальном масштабе, основанная на результатах натурных наблюдений и экспериментов на пробных площадках [6–8]. Простота алгоритма и относительная точность данной модели и более поздних ее модификаций стали основанием для ее широкого применения [9, 10].

Для измерения первичной продукции в водоемах был разработан скляночный метод кислородной и радиоуглеродной модификаций [11, 12], в последнее время – метод флюорометрии и спутниковое дистанционное зондирование фотосинтетических пигментов в поверхностном слое воды. В рамках Международной биологической программы (IBP, 1965–1974 гг.) осуществлены исследования первичной продукции наземных и водных экосистем по всей территории Земного шара.

Цель данной работы – опираясь на модель Майами, как составную часть модели «озеро и его водосбор», оценить значения  $P_{ter}$  на разных широтах Земли, сопоставить их с продукцией фитопланктона в озерах ( $P_{php}$ ), расположенных на тех же параллелях, и показать, что продуктивность водных экосистем тесно связана с функционированием наземных экосистем.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Модель «озеро и его водосбор» (рис. 1) основана на корреляционных связях между географической широтой (Lat), среднегодовой температурой (Tem), годовым количеством осадков (Pre) и  $P_{ter}$ . Температурная часть этих связей базируется на правиле Вант-Гоффа, согласно которому продукция приблизительно удваивается при повышении температуры на 10 °C. Функция, которой описывается отношение между Pre и  $P_{ter}$ , основана на наблюдениях, по которым  $P_{ter}$  в засушливых районах увеличивается на 1–2 г сухой массы (4–8 ккал) с каждым миллиметром выпавших осадков [6].



**Рис. 1.** Масс-балансовая модель потока вещества и энергии в системе «озеро и его водосбор» (объяснение – в тексте).  
 Fig. 1. Mass-balance model of the matter and energy flow in the «lake and its catchment» system. Explanation is in the text.

Биомасса и продукция фитопланктона во внутренних водоемах зависят от биогенной нагрузки, т. е. от количества биогенных элементов, поступающих в воду в процессе деструкции наземной растительности. Связь продукции фитопланктона водоема с продукцией растительного покрова на водосборе имитируется масс-балансовой моделью, алгоритм которой записан на языке Stella [13], достаточно подробно рассмотрен в работах [14–16]. Модель состоит из трех блоков: наземная растительность, фосфорный бюджет водоема и фитопланктон (рис. 1).

Ассимиляция углерода наземным растительным покровом ( $GP_{ter}$ ) лимитируется теплом либо влагой, т. е. зависит от температуры среды и количества атмосферных осадков. Этот процесс описывается в модели с помощью логического уравнения:

$$GP_{ter} = (IF(Eva > Pre) THEN (3000 (1 - EXP(-0,000664 Pre))) ELSE (3000/(1 + EXP(1,315 - 0,119 Tem)))) 4/0,6 \quad (1)$$

В этом уравнении валовая продукция наземной растительности, ккал/( $m^2 \cdot год$ ), рассматривается как функция годовой суммы осадков ( $Pre$ ) или сред-

негодовой температуры воздуха ( $T_{em}$ ) в зависимости от того, какой фактор является лимитирующим – влага или тепло. Показателем соотношения тепла и влаги служит отношение  $P_{re}$  к потенциальному испарению ( $E_{va}$ ), называемое индексом увлажнения Н.Н. Иванова [17]. Принято, что если  $P_{re} < E_{va}$ , то, согласно закону минимума Либиха,  $P_{ter}$  зависит от  $P_{re}$ , в противном случае  $P_{ter}$  зависит от  $T_{em}$ . Коэффициенты: 4 – отношение калорийности к сухой массе растений, ккал/г; 0,6 – отношение чистой продукции к валовой величине.

Потенциальное испарение (испаряемость) или испарение с водной поверхности (мм/год) рассматривается как функция среднегодовой температуры воздуха (рассчитано по [18]):

$$E_{va} = 0,0133 T_{em}^3 + 0,237 T_{em}^2 + 17,8 T_{em} + 400. \quad (2)$$

Часть валовой продукции ( $GP_{ter}$ ) тратится на дыхание и транспирацию ( $R_{ter}$ ), остальная часть составляет чистую продукцию растительности ( $P_{ter}$ ), которая равна произведению фитомассы ( $B_{ter}$ , ккал/м<sup>2</sup>) и скорости ее оборота ( $V_{ter}$ , год<sup>-1</sup>). В зрелой экосистеме  $P_{ter}$  в виде органических остатков депонируется в почве, где подвергается минерализации. Освободившийся при минерализации фосфор экспортируется в водную экосистему. Коэффициент экспорта фосфора с водосборной площади в воду (г/(м<sup>2</sup>·год) – это функция чистой продукции растительного покрова на водосборной площади и среднегодовой температуры воздуха:

$$E = P_{ter} \cdot 0,1 \cdot 0,002 \cdot 0,02 \cdot 2^{(T_{em}-14)/10} \cdot F_{eu}, \quad (3)$$

где коэффициент 0,1 – отношение массы органического углерода к ее калорийности; коэффициент 0,002 – отношение P/C в растительном материале [19]; коэффициент 0,02 – средняя для планеты доля фосфора, выносимая в водоемы из наземных экосистем с природным ландшафтом [20].

Интенсивность выноса фосфора зависит от скорости разложения продукции наземной растительности, следовательно, от температуры среды. Принято, что температурный коэффициент Вант-Гоффа  $Q_{10} = 2$ , а средняя для Северного полушария температура близка к 14 °С (рассчитано по данным сайта World Lake Database [21]).  $F_{eu}$  – фактор эвтрофирования озера, который при отсутствии антропогенной нагрузки равен 1.

Коэффициент экспорта фосфора ( $E$ ) и удельный водосбор ( $SDA$ ) определяют площадную фосфорную нагрузку на водоем ( $L_d$ , г/(м<sup>2</sup>·год)). Вклад в биогенную нагрузку вносят также атмосферные осадки ( $L_a$ , г/(м<sup>2</sup>·год)). Время оборота воды в водоеме ( $T_w$ , год<sup>-1</sup>), гидравлическая нагрузка ( $G$ , м/год), коэффициент седиментации фосфора ( $R$ , отн. ед.) и глубина водоема ( $D_{mean}$ , м) формируют потери фосфора со стоком воды ( $Out$ , г/(м<sup>2</sup>·год)) и при седиментации ( $Sed$ , г/(м<sup>2</sup>·год)) и, как следствие, содержание фосфора в водоеме в целом ( $T_{pin}$ , г/м<sup>2</sup>) и его концентрацию ( $TP$ , мкг/л). Величина  $TP$  определяет концентрацию хлорофилла ( $Chl$ , мкг/л), а  $TP$  в совокупности с цветностью воды ( $Pt$ , град.) – прозрачность воды ( $Sec$ , м). Концентрация  $Chl$ , ассимиляционное число ( $DAN$ , мг C/(мг·сут)),  $Sec$  и продолжительность вегетационного сезона ( $GS$ , дни) – валовую продукцию фитопланктона ( $GP_{php}$ , ккал/(м<sup>2</sup>·год)). Чистая продукция



фитопланктона ( $P_{\text{php}}$ , ккал/(м<sup>2</sup>-год)) – производство биомассы фитопланктона ( $B_{\text{php}}$ , ккал/м<sup>2</sup>) и скорости ее оборота ( $V_{\text{php}}$ , год<sup>-1</sup>). Длительность вегетационного сезона зависит от  $T_{\text{em}}$ , значения  $T_{\text{em}}$  и  $P_{\text{re}}$  – от географической широты ( $Lat$ , °с.ш.). Такой системный подход в сочетании с материальным и энергетическим балансовым принципом лежит в основе модели (рис. 1).

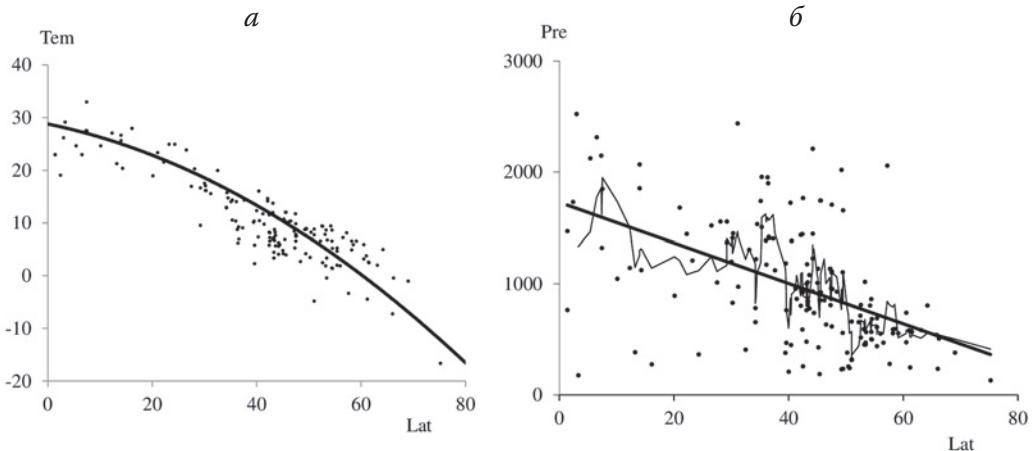
Таким образом, в данной работе модель Майями дополнена описанием процесса минерализации продукции растительности на водосборной площади и выноса освободившихся биогенных элементов в водоем. Среди биогенных элементов, содержащихся в воде, фосфор считается фактором, лимитирующим продукцию фитопланктона в водоемах озерного типа [22–25].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Впервые анализ зависимости  $T_{\text{em}}$  и  $P_{\text{re}}$  от  $Lat$  был произведен в работе [18] по результатам ИВР. Спустя почти четверть века подобный анализ проведен повторно [26] на основе базы данных, представленной на сайте World Lake Database [21]. По материалам [21] были выявлены следующие зависимости (рис. 2):

$$T_{\text{em}} = -0,0045 Lat^2 - 0,2056 Lat + 28,79, R^2 = 0,978, n = 157, \quad (4)$$

$$P_{\text{re}} = -18,15 Lat + 1728, R^2 = 0,26, n = 157. \quad (5)$$

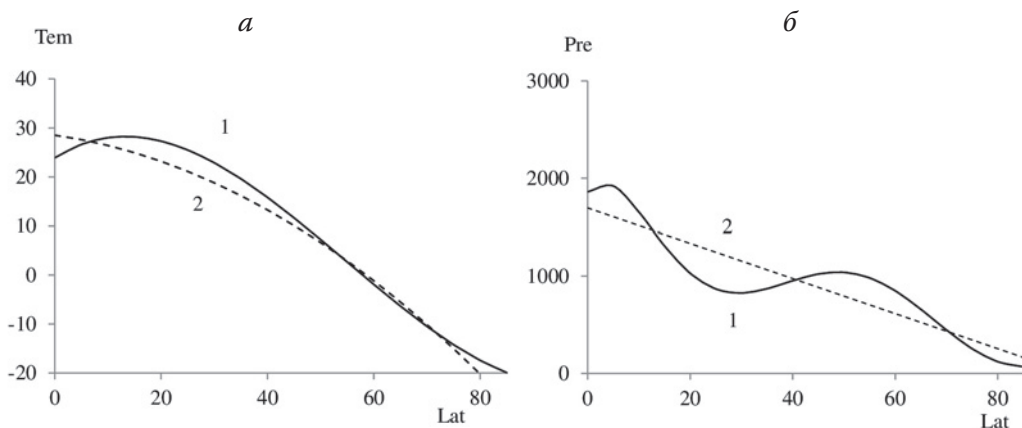


**Рис. 2.** Зависимость среднегодовой температуры воздуха ( $T_{\text{em}}$ , °C) от географической широты ( $Lat$ ) в Северном полушарии – *а*; зависимость годовой суммы осадков ( $P_{\text{re}}$ , мм) от географической широты – *б*: ломаная линия – скользящая средняя, прямая – линия регрессии  $P_{\text{re}}$  по  $Lat$ : построено по данным [21, 26].

Fig. 2. *a* is Dependence of the average annual air temperature ( $T_{\text{em}}$ , °C) on the geographical latitude ( $Lat$ ) in the Northern Hemisphere, *б* is dependence of the annual sum of precipitation ( $P_{\text{re}}$ , mm) on geographic latitude, the broken line is the moving average, the straight line is the regression line  $P_{\text{re}}$  by  $Lat$ . According to [21, 26].

Зависимости  $T_{\text{em}}$  и  $P_{\text{re}}$  от  $Lat$ , описанные в двух непересекающихся исследованиях [18] и [26], сравниваются на рис. 3. Результаты оказались сходными в отношении зависимости  $T_{\text{em}}$  от  $Lat$ . Зависимость  $P_{\text{re}}$  от  $Lat$  неоднозначна из-за большого разброса точек на графике (2*б*). По данным [26] эта зависи-

мость близка к линейной, по данным [18] – она имеет форму затухающей синусоиды, т. е. значения  $P_{re}$  наиболее велики в приэкваториальных широтах (1500–1800 мм), к субтропикам они снижаются до 800 мм, в умеренных широтах вновь увеличиваются до 900–1200 мм и резко уменьшаются в полярных областях – до 100 мм и менее (рис. 3б). Такая форма зависимости  $P_{re}$  от  $Lat$  вполне согласуется с климатическим районированием планеты [27].



**Рис. 3.** Зависимость среднегодовой температура воздуха (а) и годовых сумм осадков (б) от географической широты: 1 – по данным [18], 2 – по [26].

Fig. 3. Dependence of average annual air temperature (a) and annual precipitation (b) on geographic latitude: 1 – according to [18], 2 – according to [26]

Характер распределения  $Tem$  и  $P_{re}$  по широтным зонам обусловлен в значительной мере климатической зональностью, однако влияние климатических условий часто перекрывается действием аazonальных факторов – континентальностью и рельефностью [28]. Влияние аazonальных факторов особенно сильно проявляется по отношению к  $P_{re}$ , поэтому описание распределения  $P_{re}$  по широтам существенно генерализировано (рис. 2б и рис. 3б).

Анализ материалов, размещенных на сайте World Lake Database [21], показал, что в пределах Северного полушария в 98 % случаев  $Tem$  зависит от  $Lat$  (рис. 2а), т. е. меридиональная и высотная поясность оказывают меньшее влияние. Корреляция между  $P_{re}$  и  $Lat$  (рис. 2б) очень слабая ( $R^2 = 0,26$ ), она несколько повышается с учетом меридиональности и высоты над уровнем моря, объясняя 39 % вариабельности  $P_{re}$  (табл. 1).

Помимо параметров  $Tem$  и  $P_{re}$  в литературе рассматриваются и другие экологически значимые переменные – градусы-дни роста (growing degree-days), индекс водного стресса (water stress index), индекс сухости (dryness index), фотосинтетически активная радиация (PAR), потенциальное испарение [1, 5, 29–32]. Следует заметить, что зависимость  $P_{ter}$  от перечисленных переменных в значительной степени тавтологична, поскольку они часто взаимосвязаны. Например, испаряемость и водный баланс зависят от  $Tem$ , а  $Tem$  – от интенсивности солнечной радиации и т. д. Напротив, переменные  $Tem$  и  $P_{re}$  менее зависимы друг от друга. Важно также подчеркнуть, что увеличение количества переменных в прогностических моделях не означает увеличение точности прогноза [33 – 35].

**Таблица 1.** Пошаговый регрессионный анализ зависимости годовой суммы осадков (Pre) в Северном полушарии от географической широты (Lat, 2,4 – 75,2° с.ш.), долготы (Lon, 144.1° в.д. – 125.3° з.д.) и высоты над уровнем моря (Alt, 209 – 3000 м)

Table 1. Stepwise regression analysis of the dependence of annual temperature (Pre) in the Northern Hemisphere on latitude (Lat, 2,4 – 75,2° N), longitude (Lon, 144.1° E – 125.3° W) and altitude (Alt, 209 – 3000 m)

Шаг	Уравнение регрессии, n = 157	R <sup>2</sup>
1	Pre = 1728 – 18,13 Lat 0,26	0,26
2	Pre = 1545 – 14,28 Lat + 2,127 Lon 0,37	0,37
3	Pre = 1642 – 15,24 Lat + 2,022 Lon + 0.00312 Alt 0,39	0,39

**Таблица 2.** Продукция наземной растительности и фитопланктона внутренних вод в Северном полушарии

Table 2. Production of terrestrial vegetation and inland water phytoplankton in the Northern Hemisphere

Географический пояс Земли	Lat, °с.ш.	Площадь суши, 10 <sup>6</sup> км <sup>2</sup>	$\Sigma P_{\text{тер}}, 10^{15}$ г C <sub>орг</sub> /год	Площадь озер, 10 <sup>6</sup> км <sup>2</sup>	$\Sigma P_{\text{php}}, 10^{15}$ г C <sub>орг</sub> /год
Экваториальный	0 – 10	10,12	7,25	0,051	0,04
Субэкваториальный	10 – 20	11,36	7,21	0,057	0,034
Тропический	20 – 30	15,18	8,21	0,152	0,063
Субтропический	30 – 40	15,62	7,93	0,156	0,042
Умеренный	40 – 60	31,16	11,76	0,643	0,073
Субарктический	60 – 70	13,3	1,75	0,266	0,006
Арктический	70 – 90	3,57	0,13	0,143	0,0003
Сумма	0 – 90	100,3	44,3	1,45	0,26

По модели (рис. 1), Tem и Pre – функции Lat, а P<sub>тер</sub> – функция Tem и Pre, следовательно, P<sub>тер</sub> также зависит от Lat. Иными словами, географическую широту можно рассматривать как интегральный фактор, объединяющий воздействие Tem, Pre и других абиотических факторов на первичную продукцию наземных и водных экосистем. На этом основании установление зависимости P<sub>тер</sub> и P<sub>php</sub> от Lat (минуя промежуточные, связывающие их факторы) можно рассматривать как экспресс-способ глобальной оценки биологической продуктивности двух связанных между собой экосистем.

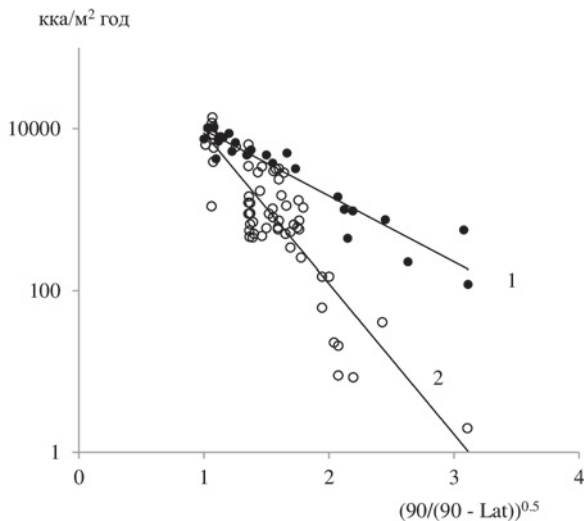
Впервые зависимость первичной продукции от Lat была установлена для внутренних водоемов [35]. Обобщив литературные и собственные данные по продукции фитопланктона в озерах и водохранилищах, расположенных от 2° до 81° с.ш., авторы пришли к заключению, что географическая широта объясняет 74 % изменчивости значений P<sub>php</sub>, если использовать значения Lat в качестве аргумента в следующей форме (рис. 4):

$$P_{\text{php}} = 647461 \text{ EXP}(-4,29 \cdot 90/(90 - \text{Lat}))^{0,5} \quad R^2 = 0,743 \quad n = 63. \quad (6)$$

Много позже [36] аналогичный тип связи был установлен между  $P_{\text{ter}}$  и Lat:

$$P_{\text{ter}} = 62943 \text{ EXP}(-1,88 \cdot 90/(90 - \text{Lat}))^{0,5} \quad R^2 = 0,898 \quad n = 31. \quad (7)$$

При сравнении линий регрессий (1) и (2) на рис. 4 становится очевидным, что на низких широтах, вблизи экватора, значения  $P_{\text{ter}}$  и  $P_{\text{php}}$  приближаются к своему максимуму и мало различаются. В направлении высоких широт (от 0 к 80° с.ш.) значения  $P_{\text{ter}}$  и  $P_{\text{php}}$  непропорционально уменьшаются, линии регрессий на графике расходятся, отношение  $P_{\text{php}}/P_{\text{ter}}$  снижается с широтой от 0,95 до 0,01.



**Рис. 4.** Первичная продукция наземных (1) и озерных (2) экосистем (ось ординат) в зависимости от географической широты: регрессия (1) по [36] с использованием данных [2, 4]; регрессия (2) по [35]; на оси абсцисс значения  $90/(90 - \text{Lat})^{0,5}$

изменяются от 1 до 3 с увеличением Lat от 0 до 80°.

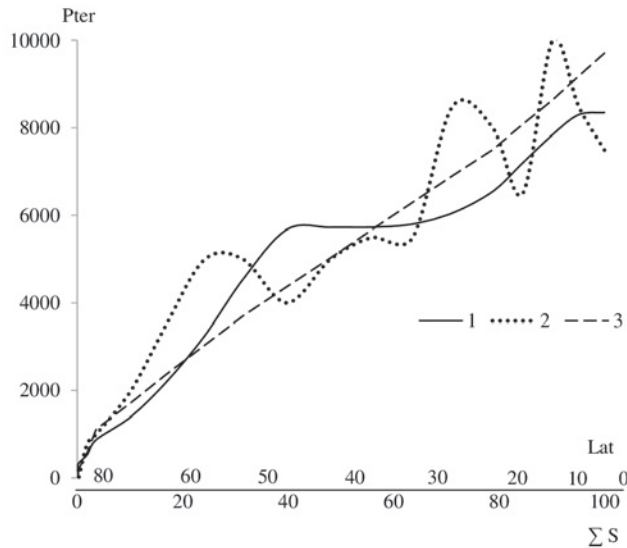
Fig. 4. Primary production of terrestrial (1) and lake (2) ecosystems (ordinate axis) depending on geographic latitude. Regression (1) according to [36] using data from [2, 4], regression (2) according to [35]. On the x-axis, the values  $90/(90 - \text{Lat})^{0,5}$  change from 1 to 3 with an increase in Lat from 0 to 80°.

Анализ функции  $P_{\text{ter}} = f(\text{Lat})$  показывает, что чистая первичная продукция суши снижается в направлении от 0 до 80° с.ш. от  $\approx 9700$  до  $\approx 200$  ккал/м<sup>2</sup>-год, составляя в среднем для Северного полушария  $\approx 4400$  ккал/м<sup>2</sup>-год, или  $\approx 440$  г С/м<sup>2</sup>-год. Эти данные сравнимы с результатами модели AVIM [37], согласно которым среднемировой показатель  $P_{\text{ter}} = 405$  г С/(м<sup>2</sup>-год) при вариации от 99,6 (тундра) до 996 г С/м<sup>2</sup>-год (тропический лес).

Анализируя функцию  $P_{\text{php}} = f(\text{Lat})$ , находим, что в направлении от 0 до 80° с.ш. величины  $P_{\text{php}}$  снижаются от  $\approx 8900$  до  $\approx 2$  ккал/м<sup>2</sup>-год при средней 2700 и медиане 1500 ккал/м<sup>2</sup>-год или 270 и 150 г С/м<sup>2</sup>-год соответственно.

На рис. 5 сравниваются результаты трех способов оценки  $P_{\text{ter}}$  на разных широтах: (1) – по уравнению (7); (2) – по модели «озеро и его водосбор» (данная работа) и (3) – на основании эмпирических наблюдений [1]. Несмотря на весьма выраженное несовпадение кривых, отражающих зависимость  $P_{\text{ter}}$  от гео-

графической зональности, площади на графике (рис. 5), ограниченные кривыми 1–3, примерно одинаковые. Простой подсчет площадей под кривыми дает очень близкие оценки  $P_{\text{ter}}$  для Северного полушария –  $42,3 - 46,3 \cdot 10^{15}$  г  $C_{\text{opr}}$ /год, в среднем  $44,3 \cdot 10^{15}$  г  $C_{\text{opr}}$ /год. Если учесть, что продукция растительности Северного полушария составляет  $\approx 65$  % глобальной продукции Земли [8, 38], продукция растительности всей планеты составит  $\approx 68 \cdot 10^{15}$  г  $C_{\text{opr}}$ /год, что приближается к верхнему пределу опубликованных значений  $P_{\text{ter}}$  [1–4, 39, 40].



**Рис. 5.** Продукция наземной растительности ( $P_{\text{ter}}$ , ккал/м<sup>2</sup>·год) относительно географической широты (Lat) и суммы площадей суши географических поясов ( $\Sigma S$ , млн км<sup>2</sup>): площади поясов (по [42]) указаны в табл. 2; кривые: 1 – по модели «озеро и его водосбор» (данная работа); 2 –  $P_{\text{ter}}$  как функция Lat (уравнение (7)); 3 – по эмпирическим данным [1].

Fig. 5. Terrestrial vegetation production ( $P_{\text{ter}}$ , kcal/m<sup>2</sup> · year) relative to geographic latitude (Lat) and sum of land areas of geographic zones ( $\Sigma S$ , million km<sup>2</sup>). The areas of the belts (according to [42]) are indicated in Table. 2. Curves: 1 – according to the “lake and its catchment” model (this work); 2 –  $P_{\text{ter}}$  as a function of Lat (equation (7)); 3 – according to empirical data [1].

Отношение суммарных величин чистой первичной продукции озерных и наземных экосистем для всего Северного полушария ( $\Sigma P_{\text{php}} / \Sigma P_{\text{ter}}$ ) очень низкое,  $\approx 0,0059$  (табл. 2). Оно минимально для Арктики (0,0023), максимально для тропического пояса (0,0077). Отношение средних значений  $P_{\text{php}}$  и  $P_{\text{ter}}$  рассчитанных на единицу площади суши и водоемов, для каждого географического пояса почти на два порядка выше – 0,47 (0,046 – для арктического пояса, 0,96 – для экваториальной зоны). Отношение  $\Sigma P_{\text{php}} / \Sigma P_{\text{ter}} = k (P_{\text{php}} / P_{\text{ter}})$ , где  $k$  – коэффициент, известный как показатель озерности конкретной географической зоны [41]. Для Северного полушария этот показатель равен в среднем 1,5 %, причем по мере продвижения на юг он снижается по географическим поясам в среднем от 5 до 0,8 %.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная в данной работе модель «озеро и его водосбор» построена на предположении, что входные метеорологические факторы являются функцией глобальных переменных – географической зональности и географической широты. Модель прогнозирует продукцию фитопланктона озерных экосистем и растительности на окружающем его водосборе, исходя из допущения, что наземные экосистемы поддерживают биологическую продуктивность озерных экосистем тем, что поставляют в них биогенные элементы, высвобождающиеся при разложении растительных остатков на водосборной площади.

К настоящему времени накоплено достаточно много исследований по первичной продукции наземных и водных экосистем, однако процессы продуцирования в обеих экосистемах рассматриваются изолированно друг от друга. Данное исследование – попытка показать на количественном уровне зависимость биологической продуктивности озер от продукции фитомассы на водосборной площади.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zaks D.P.M., Ramankutty N., Barford C.C., Foley J.A. From Miami to Madison: Investigating the relationship between climate and terrestrial net primary production // *Global Biogeochemical Cycles*. 2007. Vol. 21. GB3004.
2. Friend A.D. Terrestrial plant production and climate change // *Journal of Experimental Botany*. 2010. Vol. 61. No. 5. P. 1293–1309.
3. Инсаров Г.Е., Борисова О.К., Корзухин М.Д., Кудеяров В.Н., Минин А.А., Ольчев А.В., Семенов С.М., Сиринов А.А., Харук В.И. Природные экосистемы суши. Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем. М.: Росгидромет, 2012. С. 190–265.
4. Pan S., Tian H., Dangal S.R.S., Ouyang Z., Tao B., Ren W., Lu C., Running S. Modeling and Monitoring Terrestrial Primary Production in a Changing Global Environment: Toward a Multiscale Synthesis of Observation and Simulation // *Advances in Meteorology*. N.Y.: Hindawi, 2014. P. 1–17.
5. Усольцев В.А., Цепордей И.С., Осмирко А.А., Ковязин В.Ф., Часовских В.П., Азаренок В.А., Азаренок М.В., Кузьмин Н.И. Моделирование аддитивной структуры биомассы древостоев *Pinus L.* в климатических градиентах Евразии // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2018. Вып. 225. С. 28–46.
6. Lieth H. Primary production: terrestrial ecosystems // *Human Ecology*. 1973. Vol. 1. No. 4. P. 303–332.
7. Лит Х. Моделирование первичной продуктивности Земного шара // *Экология*. 1974. № 2. С. 13–23.
8. Box E. Geographical dimensions of terrestrial net and gross primary productivity // *Radiation and Environment Bio/physics*. 1978. Vol. 15. P. 305–322.
9. Schuur E.A.G. Productivity and global climate revisited: the sensitivity of tropical forest growth to precipitation // *Ecology*. 2003. Vol. 84. No. 5. P. 1165–1170.
10. Del Grosso S., Parton W., Stohlgren T., Zheng D.L., Bachelet D., Prince S., Hibbard K., Olson R. Global potential net primary production predicted from vegetation class, precipitation and temperature // *Ecology*. 2008. Vol. 89. No. 8. P. 2117–2126.
11. Steemann Nielsen E. The use of radioactive carbon (C14) for measuring organic production in the sea // *Journal of Construction*. 1952. Vol. 18. No. 1–3. P. 117–140.
12. Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов. Минск: Из-во АН БССР, 1960. 329 с.
13. Бульон В.В. Влияние географических факторов на биологическую продуктивность озерных экосистем: моделирование и прогноз // *Сибирский экологический журнал*. 2017. № 2. С. 127–135.



14. Ащепкова Л.Я. Применение программного пакета Stella для моделирования сложных систем. Владивосток: ДВГУ, 2002. 27 с.
15. Клековский Р.З., Меншуткин В.В. Экологическое моделирование на языке Stella. Дзеканов Лесны: междунар. экол. центр Польской Академии наук, 2003. 159 с.
16. Меншуткин В.В. Искусство моделирования. Петрозаводск: КНЦ РАН, 2010. 419 с.
17. Исаченко А.Г. Основные вопросы физической географии. Л.: ЛГУ, 1953. 391 с.
18. Straškraba M. The effects of physical variables on freshwater production: analyses based on models // *The functioning of freshwater ecosystems*. Cambridge: Univ. Press, 1980. P. 13–84.
19. Эволюция круговорота фосфора и эвтрофирование природных вод / под ред. К.Я. Кондратьева, И.С. Коплан-Дикс. Л.: Наука, 1988. 204 с.
20. Коплан-Дикс И.С., Назаров Г.В., Кузнецов В.К. Роль минеральных удобрений в эвтрофировании вод суши. Л.: Наука, 1985. 182 с.
21. World Lake Database. Режим доступа: <http://www.ilec.or.jp//database/index/idx-la>.
22. Sakamoto M. Primary production by phytoplankton community in some Japanese lakes and its dependence on lake depth // *Archive of Hydrobiology*. 1966 Vol. 62. No. 1. P. 1–28.
23. Vollenweider R.A. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. OECD: Paris, 1968. 183 p.
24. Dillon P.J., Rigler F.H. The phosphorus-chlorophyll relationship in lakes // *Limnology and Oceanography*. 1974. Vol. 19. № 5. P. 767–773.
25. Dillon P.J. The phosphorus budget of Cameron Lake, Ontario: The importance of flushing rate to degree of eutrophy of lakes // *Limnology and Oceanography*. 1975. Vol. 20. No. 1. P. 28–39.
26. Бульон В.В. Влияние географической широты на первичную продукцию озерных и наземных экосистем // *Водные ресурсы*. 2007. Т. 34. № 5. С. 565–572.
27. Алисов Б.П. Общая климатология. М.: Гидрометеиздат, 1952. 487 с.
28. Базилевич Н.И., Родин А.Е., Розов Н.Н. Географические аспекты изучения биологической продуктивности. Л., 1970. 28 с.
29. Schloss A.L., Kicklighter D.W., Kaduk J., Wittenberg U. Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): comparison of NPP to climate and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) // *Global Change Biology*. 1999. Vol. 5. No. 1. P. 25–34.
30. Ito A., Oikawa T. Global Mapping of Terrestrial Primary Productivity and Light-Use Efficiency with a Process-Based Model // *Global Environmental Change in the Ocean and on Land*. Tokyo: TERRAPUB, 2004. P. 343–358.
31. Pranuthi G., Dubey S.K., Tripathi S.K. Comparison of different models for estimation of net primary productivity in India // *Journal of Agro/meteorology*. 2012. Vol. 14. No. 2. P. 105–110.
32. Li Z., Chen Y., Wang Y., Fang G. Dynamic changes in terrestrial net primary production and their effects on evapotranspiration // *Hydrological Earth Systems Sciences*. 2016. Vol. 20. P. 2169–2178.
33. Cramer W., Kicklighter D. W., Bondeau A., Moore B., Churkina G., Nemry B., Ruimy A., Schloss A. Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): overview and key results // *Global Change Biology*. 1999. Vol. 5. P. 1–15.
34. Pace L.P. Prediction and the aquatic sciences // *Canadian Journal of Fishery and Aquatic Sciences* 2001. Vol. 58, No. 1. P. 63–72.
35. Håkanson L., Boulion V.V. The lake foodweb – modelling predation and abiotic/biotic interactions. Leiden: Backhuys Publishers, 2002. 344 p.
36. Бульон В.В. Соотношение величин первичной продукции озерных и наземных экосистем // *Доклады РАН*. 2020. Т. 493. С. 345–348.
37. Li Y. P., Ji J. J. Model Estimates of Global Carbon Flux between Vegetation and the Atmosphere // *Advances in Atmospheric Sciences*. 2001. Vol. 18. No. 5. P. 807–818.
38. Кобак К.И. Биотические компоненты углеродного цикла. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 248 с.
39. Roy J., Saugier B., Mooney H.A. *Terrestrial Global Productivity*. San Diego: Academic Press, 2001. 573 p.
40. Naumov A. New relationship in carbon cycle // *Law Carbon Economy*. 2012. Vol. 3. No. 3. P. 111–114.

41. Догановский А.М., Мякишева Н.В. Водный баланс и внешний водообмен озер России и сопредельных районов // Ученые записки. 2015. № 41. С. 63–75.
42. Infotablts.ru//справочные таблицы.

## REFERENES

1. Zaks D. P. M., Ramankutty N., Barford C. C., Foley J. A. From Miami to Madison: Investigating the relationship between climate and terrestrial net primary production. *Global Biogeochemical Cycles*, 2007, vol. 21, GB3004.
2. Friend A.D. Terrestrial plant production and climate change. *Journal of Experimental Botany*. 2010. Vol. 61. No 5. P. 1293–1309.
3. Insarov G.E., Borisova O.K., Korzukhin M.D., Kudayarov V.N., Minin A.A., Olchev A.V., Semenov S.M., Sirin A.A., Kharuk V.I. Natural ecosystems of land. Methods for assessing the effects of climate change on physical and biological systems. Moscow: Roshydromet Publ., 2012. P. 190–265 (In Russ.).
4. Pan S., Tian H., Dangal S.R.S., Ouyang Z., Tao B., Ren W., Lu C., Running S. Modeling and Monitoring Terrestrial Primary Production in a Changing Global Environment: Toward a Multiscale Synthesis of Observation and Simulation. *Advances in Meteorology*. N.Y.: Hindawi, 2014. P. 1–17.
5. Usoltsev V.A., Tsepordey I.S., Osmirko A.A., Kovyazin V.F., Chasovskikh V.P., Azarenok V.A., Azarenok M.V., Kuzmin N.I. Modeling the additive structure of the biomass of Pinus L. stands in the climatic gradients of Eurasia. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy Lesotekhnicheskoy Akademiyi [News Bulletin of St. Petersburg Forest Engineering Academy]*. 2018. Iss. 225. P. 28–46 (In Russ.).
6. Lieth H. Primary production: terrestrial ecosystems. *Human Ecology*. 1973. Vol. 1. No 4. P. 303–332.
7. Lieth H. Modeling the primary productivity of the Earth. *Ekologiya*. 1974. No 2. P. 13–23.
8. Box E. Geographical dimensions of terrestrial net and gross primary productivity. *Radiation and Environment Bio/physics*. 1978. Vol. 15. P. 305–322 (In Russ.).
9. Schuur E.A.G. Productivity and global climate revisited: the sensitivity of tropical forest growth to precipitation. *Ecology*. 2003. Vol. 84. No 5. P. 1165–1170.
10. Del Grosso S., Parton W., Stohlgren T. Zheng D.L., Bachelet D., Prince S., Hibbard K., Olson R. Global potential net primary production predicted from vegetation class, precipitation and temperature. *Ecology*. 2008. Vol. 89. No 8. P. 2117–2126.
11. Steemann Nielsen E. The use of radioactive carbon (C14) for measuring organic production in the sea. *Journal of Construction*. 1952. Vol. 18. No 1–3. P. 117–140.
12. Winberg G.G. Primary production of water bodies. Minsk: Akad. Nauk BSSR, 1960. 329 p. (In Russ.).
13. Boulion V.V. The influence of geographical factors on the biological productivity of lake ecosystems: modeling and forecasting. *Sibirskiy Ekologicheskij Zhurnal [Siberian Ecological Journal]*. 2017. No 2. P. 127–135 (In Russ.).
14. Ashchepkova L.Y. Application of the Stella software package for modeling complex systems. Vladivostok: *Dalnevostochniy Gosudarstvennyy Universitet [Far Eastern State University]*, 2002. 27 p. (In Russ.).
15. Klekovsky R.Z., Menshutkin V.V. Environmental modeling in Stella language. Dzekanov Lesny: Mezhd. ecol. tsentr Pol. Akad. Nauk, 2003. 159 p. (In Russ.).
16. Menshutkin V.V. The art of modeling. Petrozavodsk: Karelskiy Nauchnyy Tsentr [Karelian Scientific Center], 2010. 419 p. (In Russ.).
17. Isachenko A.G. Basic questions of physical geography. Leningrad: Leningradskiy Gosudarstvennyy Universitet. [Leningrad State University], 1953. 391 p. (In Russ.).
18. Straškraba M. The effects of physical variables on freshwater production: analyzes based on models. *The functioning of freshwater ecosystems*. Cambridge: Univ. Press, 1980, pp. 13–84.
19. Evolution of the phosphorus cycle and eutrophication of natural waters / ed. K. Ya. Kondratyev, I.S. Coplan-Dix. Leningrad: Nauka, 1988. 204 p. (In Russ.).
20. Koplán-Diks I.S., Nazarov G.V., Kuznetsov V.K. The role of mineral fertilizers in the eutrophication of land waters. Leningrad: Nauka, 1985. 182 p. (In Russ.).
21. World Lake Database. <http://www.ilec.or.jp//database/index/idx-la>.

22. Sakamoto M. Primary production by phytoplankton community in some Japanese lakes and its dependence on lake depth. *Archive of Hydrobiology*. 1966. Vol. 62. No 1. P. 1–28.
23. Vollenweider R.A. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. OECD: Paris, 1968, 183 p.
24. Dillon P.J., Rigler F.H. The phosphorus-chlorophyll relationship in lakes. *Limnology and Oceanography*, 1974. Vol. 19. No 5. P. 767–773.
25. Dillon P.J. The phosphorus budget of Cameron Lake, Ontario: The importance of flushing rate to degree of eutrophy of lakes. *Limnology and Oceanography*, 1975. Vol. 20. No. 1. P. 28–39.
26. Boulion V.V. Influence of geographic latitude on the primary production of lake and terrestrial ecosystems. *Vodniye Resursy [Water Resources]*. 2007. Vol. 34. No. 5. P. 565–572 (In Russ.).
27. Alisov B.P. General climatology. Moscow: Gidrometeoizdat Publ., 1952. 487 p. (In Russ.).
28. Bazilevich N.I., Rodin L.E., Rozov N.N. Geographic aspects of the study of biological productivity. Leningrad: Geograf. Obshch. USSR, 1970. 28 p. (In Russ.).
29. Schloss A. L., Kicklighter D. W., Kaduk J., Wittenberg U. et al. Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): comparison of NPP to climate and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). *Global Change Biology*. 1999. Vol. 5. No 1. P. 25–34.
30. Ito A., Oikawa T. Global Mapping of Terrestrial Primary Productivity and Light-Use Efficiency with a Process-Based Model. *Global Environmental Change in the Ocean and on Land*. Tokyo: TERRAPUB, 2004. P. 343–358.
31. Pranuthi G., Dubey S.K., Tripathi S.K. Comparison of different models for estimation of net primary productivity in India. *Journal of Agrometeorology*. 2012. Vol. 14. No 2. P. 105–110.
32. Li Z., Chen Y., Wang Y., Fang G. Dynamic changes in terrestrial net primary production and their effects on evapotranspiration. *Hydrological Earth Systems Sciences*. 2016. Vol. 20. P. 2169–2178.
33. Cramer W., Kicklighter D. W., Bondeau A., Moore B., Churkina G., Nemry B., Ruimy A., Schloss A. Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): overview and key results. *Global Change Biology*. 1999. Vol. 5. No 1. P. 1–15.
34. Pace L.P. Prediction and the aquatic sciences. *Canadian Journal of Fishery and Aquatic Sciences*. 2001. Vol. 58. No. 1. P. 63–72.
35. Håkanson L., Boulion V.V. The lake foodweb - modeling predation and abiotic / biotic interactions. Leiden: Backhuys Publishers, 2002, 344 p.
36. Boulion V.V. The ratio of the values of the primary production of lacustrine and terrestrial ecosystems. *Doklady Rossiyskoy Akademiyi Nauk [Proceedings of the Russian Academy of Sciences]*, 2020. Vol. 493. P. 345–348 (In Russ.).
37. Li Y. P., Ji J. J. Model Estimates of Global Carbon Flux between Vegetation and the Atmosphere. *Advances in Atmospheric Sciences*. 2001. Vol. 18. No. 5. P. 807–818.
38. Kobak K.I. Biotic components of the carbon cycle. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1988. 248 p. (In Russ.).
39. Roy J., Saugier B., Mooney H. A. Terrestrial Global Productivity. San Diego: Academ. Press, 2001. 573 p.
40. Naumov A. New relationship in carbon cycle. *Law Carbon Economy*, 2012. Vol. 3. No. 3. P. 111–114.
41. Doganovsky A.M., Myakisheva N.V. Water balance and external water exchange in lakes in Russia and adjacent regions. *Uchenye zapiski*. 2015. No 41. P. 63–75 (In Russ.).
42. Infotabls.ru // Reference tables.

#### Сведения об авторе:

**Бульон Виктор Валентинович**, д-р биол. наук, профессор, ФГБУН «Зоологический институт Российской академии наук», Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 1; e-mail: vboulion@mail.ru

#### About the author:

**Viktor V. Boulion**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, Universitetskaya nab., 1, Saint-Petersburg, 199034 Russia; e-mail: vboulion@mail.ru

## Состояние макрозообентоса малых озер урбанизированных территорий Карелии (на примере озер Плотичье и Китайское)

Е.С. Савосин 

✉ szhenya@list.ru

*Институт биологии Карельского научного центра Российской академии наук, г. Петрозаводск, Россия*

### АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** Оценка особенностей формирования донного сообщества в водоемах в условиях возрастающих воздействий антропогенного характера представляется актуальной задачей научно-исследовательских работ, направленных на краткосрочный и долгосрочный мониторинг состояния водных объектов. В статье представлены материалы исследований современного состояния сообществ зообентоса малых озер Китайское и Плотичье, подверженных влиянию антропогенных факторов. **Методы.** Проведены анализ качественного и количественного состава, оценка видового разнообразия зообентоса, структуры видов-доминантов, их процентного соотношения в составе пробы в литоральных и профундальных зонах. **Результаты.** Анализ полученных данных показал, что по уровню развития зообентоса оба водоема соответствуют мезотрофным, по величине хириноидного индекса относятся к умеренно-загрязненным. Доказано, что доминирование наиболее толерантных к условиям среды групп макрозообентоса свойственно экосистемам урбанизированных территорий. Установлено, что в условиях хозяйственного освоения озер длительное эвтрофирование ведет к трансформации экосистемы и оказывает негативное влияние на биотические параметры качества поверхностных вод. Полученные результаты могут служить базисом для проведения комплексных работ по экологическому мониторингу водных объектов урбанизированных территорий.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** малые озера, пресноводная экосистема, зообентос, трофический статус, экологический мониторинг.

**Финансирование:** Финансовая поддержка работы осуществлялась в рамках государственного задания № FMEN-2022-0007.

**Для цитирования:** Савосин Е.С. Состояние макрозообентоса малых озер урбанизированных территорий Карелии (на примере озер Плотичье и Китайское) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2023. № 5. С. 34-42. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_5\_3.

Дата поступления 06.03.2023.

---

### THE STATE OF THE KARELIA SMALL LAKES MACRO/ZOOBENTOS UNDER THE CONDITIONS OF URBANIZATION (THE LAKES PLOTICHYE AND KITAYSKOYE AS A STUDY CASE)

Evgeniy S. Savosin 

✉ szhenya@list.ru

*Institute of Biology of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia*

© Савосин Е.С., 2023

**ABSTRACT**

**Relevance.** Assessment of special features of the bottom community formation in water bodies under the conditions of growing anthropogenic impacts seems to be an urgent task of researches aimed at the short-term and long-term monitoring of the water bodies' status. The article presents the materials of studies of the current state of zoo/benthic communities of small lakes in the Republic of Karelia (Kitaiskoye and Plotichye) affected by anthropogenic factor. **Methods.** Analysis of the qualitative and quantitative composition, an assessment of the species diversity of zoo/benthos, the structure of dominant species, and their percentage in the composition of the sample in the littoral and profundal zones was carried out. **Results.** Analysis of studies showed that in terms of the level of development of zoo/benthos, both reservoirs relate to mesotrophic ones, and in terms of the value of the chironomid index they relate to moderately polluted. It has been shown that dominion of the macro/zoo/benthos groups most tolerant to the environmental conditions leads to the ecosystem transformation and negatively affects to the surface waters quality biotic parameters. The results obtained can serve as a basis for carrying out integrated works on environmental monitoring of the urbanized territories.

**Keywords:** freshwater ecosystem, invertebrates, abundance, biomass, trophic status, ecology.

**Financing:** Financial support for the work was carried out within the framework of the state assignment № FMEN-2022-0007.

**For citation:** Savosin E.S. The state of the Karelia small lakes macro/zoo/benthos under the conditions of urbanization (the lakes Plotichye and Kitayskoye as a study case). *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2023. No. 5. P. 34-42. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_5\_3.

Received 06.03.2023.

**ВВЕДЕНИЕ**

Изучение особенностей сообществ гидробионтов в разнотипных водных экосистемах является одной из фундаментальных задач гидробиологии [1–4]. Гидробиоценоз – важнейший компонент биосферы, испытывающий существенное влияние антропогенного фактора на всех трофических уровнях. Значительное воздействие связанных с урбанизацией факторов на континентальные водоемы, такие, как водохранилища, озера, реки, приводит к изменениям природных условий водных экосистем.

В условиях антропогенного влияния в рамках мониторинга водных объектов, за счет особенностей донных беспозвоночных, становится возможным определить состояние водоема и дать прогностическую оценку даже на основании собранных за короткий период наблюдений данных.

Сообщество макрозообентоса позволяет оценить пресноводные экосистемы, благодаря способности аккумулировать распределенные в водной среде вещества и достаточной продолжительности жизни в самых разнообразных биотопах [5–7]. Донное сообщество водоема может достоверно проиллюстрировать последствия длительного загрязнения водных экосистем. Одной из возможных областей применения показателей сообщества беспозвоночных является метод биоиндикации, активно и успешно использующийся в последнее время. В связи со значительной хозяйственной и рекреационной деятельностью на водных объектах очевидна практическая значимость подобных исследований.



Республика Карелия обладает развитой гидрографической сетью, включающей более 60 тыс. озер и 23 тыс. рек, при этом наиболее подвержены антропогенному влиянию водные биоценозы в условиях измененной среды. Городские водоемы, вследствие химического загрязнения и сопутствующего эвтрофирования, характеризуются низким качеством вод.

Значительное количество исследований, посвященных оценке современного состояния урбанизированных водоемов, проведено в различных субъектах Российской Федерации [8–10], но, к сожалению, эта актуальная проблематика пока еще слабо представлена в научных работах по водным объектам Республики Карелия.

Цель данного исследования – оценить современное состояние донного сообщества двух малых урбанизированных озер – Плотичье и Китайское – в Республике Карелия.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изучение сообщества зообентоса проводили на двух малых озерах Карелии (Плотичье и Китайское) осенью 2018 г. по единой методике. Водоемы расположены в черте г. Медвежьегорска (рисунок). Данных по этим озерам в литературных источниках не обнаружено.

Изучаемые озера имеют очень малые площади – 0,09 км<sup>2</sup> оз. Плотичье и 0,12 км<sup>2</sup> Китайское. Характеристика озер представлена в табл. 1.



**Рисунок.** Картограмма объектов исследования.  
Fig. Schematic map of the objects under research.

Пробы зообентоса отбирали с помощью дночерпателя ДАК-250 (модификация Экмана–Берджа) по стандартной методике. На каждом водоеме отобрано по шесть гидробиологических проб в двух повторностях. Камеральную обработку проводили в лаборатории с использованием бинокля МБС-10 и



**Таблица 1.** Основные морфологические характеристики исследуемых озер  
 Table 1. Main morphological characteristics of the lakes studied

Параметры	оз. Плотичье	оз. Китайское
Координаты	62°54 с.ш., 34°25' в.д.	62°53 с.ш., 34°25' в.д.
Площадь, км <sup>2</sup>	0,09	0,12
Максимальная длина, м	460	900
Средняя ширина, м	250	200
Максимальная глубина, м	14	18
Средняя глубина, м	6	8

цифрового микроскопа ЛОМО Микмед-6<sup>1,2</sup> [11]. При идентификации организмов зообентоса использовали общепринятые определители<sup>3</sup> [12–15].

Анализ уровня сапробности озер с использованием выявленных видов-индикаторов зообентоса проводили по методу Пантле–Букка, учитывая региональные особенности водоемов Карелии [16, 17]. Уровень трофности оценивали по шкале С.П. Китаева [18].

В качестве дополнительного показателя качества вод применяли хирономидный индекс (К) и индекс Майера [3].

$$K = \frac{\alpha_t + 0,5\alpha_{ch}}{\alpha_0},$$

где  $\alpha_{ch}$  – Chironominae;  $\alpha_0$  – Ortocladiinae и Diamesinae;  $\alpha_t$  – Tanipodinae,  $\alpha = N + 10$ , где N – относительная численность особей всех видов данного подсемейства в процентах от общей численности особей всех хирономид. Значение индекса К от 0,14 до 1,08 характеризует чистые воды, 1,08–6,05 – умеренно загрязненные, 6,5–9,0 – загрязненные, 9,0–11,5 – грязные.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В условиях нарастающей урбанизации, как одного из антропогенных факторов, изучение городских водных объектов актуально и имеет практическое применение [1]. Преобладающими источниками антропогенного воздействия на экосистемы исследуемых водоемов являются автомобильный и железнодорожный транспорт.

В работах ряда авторов по исследованию зообентоса в городских водных объектах отмечается связь процесса миграции и накопления поллютантов в гидробионтах в результате загрязнения донных осадков. Донные организмы урбанизированной территории активно накапливают Zn, Mo, Cu, Sb и Pb, пре-

<sup>1</sup> Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях. Л., 1984. 19 с.

<sup>2</sup> Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Наука, 1983. 50 с.

<sup>3</sup> Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России: Т. 2. Зообентос / под ред. В.Р. Алексеева и С.Я. Цалолыхина. М. СПб.: Тов-во науч. изд. КМК, 2016. 457 с.

образуя условия окружающей среды, что, в конечном итоге, приводит к их угнетению и гибели [9, 19–21].

Озеро Плотичье (Мыльное) характеризуется равномерным рельефом дна. Отбор проб проводили в профундальной зоне озера, на глубинах свыше 7 м. Преобладающими донными отложениями озера были коричневые илы на глинистых грунтах, иногда с обильными детритными остатками. Донная фауна в водоеме представлена всего двумя таксонами: Chironomidae и Oligochaeta. Основу биомассы малощетинковых червей обеспечивал *Lumbriculus variegatus* (Müller, 1774), среди хирономид отмечены представители подсемейства Chironominae (триба Chironomini, Tanytarsini) и Tanytarsinae (табл. 2). Средняя биомасса общего макрозообентоса в озере составляла  $2,53 \pm 0,50$  г/м<sup>2</sup>, численность –  $460 \pm 55$  экз/м<sup>2</sup>.

Хирономидный индекс К для оз. Плотичье равен 1,55, что свидетельствует об умеренном уровне загрязнения. В составе макрозообентоса обнаружены три вида-индикатора органического загрязнения, сапробность составила 2,6. Таким образом, водоем можно отнести к загрязненным (4 класс качества вод).

Озеро Китайское, расположенное практически в центре г. Медвежьегорска, характеризуется наличием нескольких ярко выраженных биотопов, поэтому сетка станций охватывала его литораль и профундаль. Грунт в зарослевой зоне озера представлен серо-оливковыми и буроватыми илами, песчаной и иристо-песчаной фацией.

В осенний период в фауне донных беспозвоночных преобладали личинки хирономид и двустворчатые моллюски. В литоральной зоне отмечены представители Ephemeroptera, Megaloptera, Ceratopogonidae. Доминирующий комплекс Chironomidae (до 90 %) состоял из представителей подсемейства Chironominae (триба Chironomini, Tanytarsini), Orthoclaadiinae и Prodiamesinae (табл. 2)

Общий список видов и форм зообентоса исследованных водоемов составил 14 наименований: для оз. Плотичье идентифицировано 6 видов, для оз. Китайское – 13. Значительную долю составляют насекомые из отряда Diptera (личинки семейств Chironomidae, Ceratopogonidae). Из других отрядов преобладают Ephemeroptera, Trichoptera, Megaloptera, также обнаружены группы беспозвоночных – Oligochaeta, Bivalvia. Средняя биомасса макрозообентоса оз. Китайское за период исследования составляла  $2,74 \pm 0,53$  г/м<sup>2</sup> при численности  $860 \pm 103$  экз/м<sup>2</sup>.

В составе макрозообентоса обнаружены два вида-индикатора органического загрязнения, сапробность составила 2,8, водоемы можно отнести к загрязненным (4 класс качества вод). Индекс Майера равен 11, что характеризует оз. Китайское как умеренно-загрязненный (3 класс качества) водоем. Согласно полученному значению хирономидного индекса Балашкиной (2,25) оз. Китайское также умеренно-загрязненное.

Исследованные озера по основным показателям зообентоса соответствуют мезотрофным α-мезосапробным водоемам. При использовании индекса сапробности расчеты проводили только по индикаторным видам, которые имеют значение в оценке органического загрязнения.

Таксон	оз. Плотичье (Мыльное)	оз. Китайское
<b>Oligochaeta</b>		
<i>Lumbriculus variegatus</i> (Müller, 1774)	+	–
<b>Chironomidae</b>		
<i>Corynocera ambigua</i> (Zetterstedt, 1837)	+	+
<i>Chironomus</i> sp.	+	+
<i>Chironomus plumosus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+
<i>Procladius</i> sp.	+	+
<i>Tan tarsus</i> sp.	–	+
<i>Sergentia coracina</i> (Zetterstedt, 1850)	+	+
<i>Microtendipes pedellus</i> (De Geer, 1776)	–	+
<i>Monodiamesa bathyphila</i> Kieffer, 1918	–	+
<i>Zalutschia zalutschicola</i> (Lipina, 1939)	–	+
<b>Ceratopogonidae</b>		
<i>Bezzia</i> sp.	–	+
<b>Ephemeroptera</b>		
<i>Caenis rivulorum</i> (Eaton, 1884)	–	+
<b>Megaloptera</b>		
<i>Sialis sordida</i> (Klingstedt, 1932)	–	+
<b>Bivalvia</b>	–	+
<i>Pisidium</i> sp.		
Всего таксонов	6	13
<b>Количественные показатели</b>		
Средняя численность, экз/м <sup>2</sup>	460±124	860±232
Средняя биомасса, г/м <sup>2</sup>	2,53±0,78	2,74±0,84
Индекс Майера	–	11
Индекс Балушкиной (К)	1,55	2,25
Индекс сапробности (S)	2,60	2,80

Следует отметить, что таких урбанизированных водных объектов (ламп и малых озер) в Карелии очень много. В перспективе это означает потенциально большой массив данных для исследования, мониторинга и прогнозирования изменений в водных экосистемах региона.

### ВЫВОДЫ

В рамках проведенного исследования установлено, что урбанизированные малые озера (Плотичье и Китайское) имеют сходные количественные характеристики бентоценозов (средняя биомасса, численность), а также уровень трофности (оба водоема – мезотрофные). Это объясняется территориальным расположением исследуемых озер, а также практически одинаковым комплексом факторов, формирующих бентофауну и экосистему в целом. Ввиду отличающейся схемы отбора проб макрозообентоса, связанной с особенностями морфологии оз. Плотичье (отсутствие литоральной зоны), у исследованных озер выявлены отличия качественного состава зообентоса: для озера Китай-

ского индекс видового обилия был значительно выше в связи с присутствием литоральной зарослевой зоны, заселенной представителями насекомых.

По результатам проведенной работы можно сделать вывод, что, вызванное антропогенным воздействием эвтрофирование малых озер характеризуется упрощением трофической структуры, обеднением видового состава, доминированием наиболее толерантных групп макрозообентоса, к которым, несомненно, относятся Chironomidae.

Вследствие постоянного возрастания влияния деятельности человека на природные объекты, полученные данные фаунистических исследований урбанизированных территорий имеют практическое значение. Аналогичные исследования необходимо продолжать для выявления методов и решений, касающихся решения экологических проблем региона.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алимов А.Ф. Закономерности гидробиологического режима водоемов разного типа. М.: Научный мир, 2004. 296 с.
2. Алимов А. Ф. Еще раз об экологии. М. – СПб: Тов-во науч. изд. КМК., 2016. 62 с.
3. Балущкина Е. В. Применение интегрального показателя для оценки качества вод по структурным характеристикам донных сообществ // Реакция озерных экосистем на изменение биотических и абиотических условий. СПб.: ЗИН РАН, 1997. С. 266–292.
4. Павлов Д. С., Стриганова Б. Р. Биологические ресурсы России и основные направления фундаментальных исследований // Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2005. С. 4–20.
5. Баканов А. И. Использование характеристик разнообразия зообентоса для мониторинга состояния пресноводных экосистем // Мониторинг биоразнообразия. М., 1997. С. 278 – 283.
6. Баканов А. И. Использование зообентоса для мониторинга пресноводных водоемов (обзор) // Биология внутренних вод. ИБВВ РАН. 2000. № 1. С. 68–82.
7. Яковлев В. А. Пресноводный зообентос Северной Фенноскандии (разнообразие, структура и антропогенная динамика). Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2005. Ч. 1. 161 с. Ч. 2. 145 с.
8. Ахмедова Г. А., Расулова М. М. Состояние малых озер в урбанизированных ландшафтах и их защита в условиях антропогенной нагрузки (на примере озер Ак-Гель и Большое Турали) // Юг России: экология, развитие. 2009. Т. 4. № 4. С. 134–138.
9. Беляков В. П., Бажора А. И., Сотников И. В. Мониторинг экологического состояния городских водоемов Санкт-Петербурга по показателям зообентоса // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. Т. 17. № 6. С. 51–56.
10. Слукровский З. И. Геохимическая спецификация донных отложений малых озер урбанизированных районов Республики Карелия // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2018. Т. 15. С. 501–504.
11. Жадин В. И. Методика изучения донной фауны и экологии донных беспозвоночных // Жизнь пресных вод СССР. М.; Л., 1956. Т. 4. Ч. 1. С. 279–382.
12. Нарчук Э. П. Определитель беспозвоночных России и сопредельных территорий. СПб., 1999. С. 210–296.
13. Чертопруд М. В., Чертопруд Е. С. Краткий определитель пресноводных беспозвоночных центра Европейской России. М.: МАКС Пресс, 2003. 196 с.
14. Timm T. A guide to the freshwater Oligochaeta and Polychaeta of Northern and Central Europe. Lauterbornia, 2009. P. 1–235.
15. Wiederholm, T. Chironomidae of the Holarctic region. Keys and Diagnoses. Part 1. Larvae. Entomologica scandinavica Supplement. 1983. № 19. P. 1– 457.
16. Макрушин А. В. Биологический анализ качества вод. Л.: Наука, 1974. 59 с.
17. Sládeček V. System of water quality from the biological point of view // Archive Fur Hydrobiogyl. Ergebnisse der Limnologie. 1973. Bd. 7. 218 p.

18. Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 395 с.
19. Ромашкова Ю.А. Малые озера урбанизированных территорий г. Тольятти: таксономический состав, структура донных сообществ. ИБВВ РАН, 2015. Т. 24. № 4. С. 32–47.
20. Слуковский З. И., Медведев А. С., Бубнова Т. П., Сыроежко Е. В. Накопление и вертикальное распределение тяжелых металлов в сапропеле озера Грязное (Медвежьегорский район, Республика Карелия) // Труды Мурманского государственного технического университета. 2017. Т. 20. № 1–2. С. 177–188.
21. Слуковский З.И., Полякова Т. Н. Анализ накопления тяжелых металлов в организме олигохет из речных донных отложений урбанизированной среды // Биология внутренних вод. 2017. № 3. С. 73–82.

## REFERENCES

1. Alimov A.F. Patterns of the hydro/biological regime of reservoirs of various types. M.: *Nauchniy mir* [Scientific world]. 2004. 296 p. (In Russ.).
2. Alimov A.F. Once again about ecology. M.: SPb: Tov-vo nauch. izd. KMK, 2016. 62 p. (In Russ.).
3. Balushkina E.V. Application of an integral indicator to assess the quality of waters according to the structural characteristics of bottom communities. *Reaktsiya ozernykh ekosistem na izmeneniye bioticheskikh i abioticheskikh usloviy* [Reaction of lake ecosystems to changes in biotic and abiotic conditions]. SPb: ZIN RAN, 1997. P. 266–292 (In Russ.).
4. Pavlov D.S., Striganova B.R. Biological resources of Russia and the main directions of fundamental research. *Fundamentalniye osnovy upravleniya biologicheskimi resursami* [Fundamental principles of biological resources management]. M.: Tov-vo nauch. izd. KMK [KMK Association of scientific publishing houses], 2005. P. 4–20 (In Russ.).
5. Bakanov A.I. Using the characteristics of zoobenthos diversity to monitor the state of freshwater ecosystems. *Monitoring bioraznoobraziya* [Biodiversity monitoring]. M., 1997. P. 278–283 (In Russ.).
6. Bakanov A.I. Use of zoobenthos for monitoring freshwater reservoirs (review). *Biologiya vnutrennikh vod* [Biology of internal waters]. IBVV RAN, 2000. No. 1. P. 68–82 (In Russ.).
7. Yakovlev V.A. Freshwater zoobenthos of Northern Fennoscandia (diversity, structure and anthropogenic dynamics). Apatity: Ed. KSC RAS, 2005. Part 1. 161 p. Part 2. 145 p.
8. Akhmedova G. A., Rasulova M. M. The state of small lakes in urban landscapes and their protection under anthropogenic load (on the example of Ak-Gel and Bolshoye Turali lakes). *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye* [South of Russia: ecology and development]. 2009. Vol. 4. No. 4. P. 134–138 (In Russ.).
9. Belyakov V.P., Bazhora A.I., Sotnikov I.V., Monitoring of the ecological state of urban reservoirs of St. Petersburg in terms of zoobenthos. *Trudy Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Publication by Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2015. Vol. 17. No. 6. P. 51–56 (In Russ.).
10. Slukovsky Z.I., Geochemical specification of bottom sediments of small lakes in urban areas of the Republic of Karelia. *Tr. Fersmanovskoy nauchnoy sessiyi GI KNTs RAN* [Proceedings of Fersman scientific session of GI KSC RAS]. 2018. Vol. 15. P. 501–504 (In Russ.).
11. Zhadin V.I. Methods of studying the benthic fauna and ecology of benthic invertebrates. *Zhizn presnykh vod SSSR* [Life of fresh waters of the USSR]. M.; L. 1956. Vol. 4. Part 1. P. 279–382.
12. Narchuk E.P. Determinant of invertebrates in Russia and adjacent territories. SPb., 1999. P. 210–296 (In Russ.).
13. Chertoprud M. V., Chertoprud E. S. A brief guide to freshwater invertebrates of the center of European Russia. M.: MAKS Press, 2003. 196 p. (In Russ.).
14. Timm T. A guide to the freshwater Oligochaeta and Polychaeta of Northern and Central Europe. Lauterbornia, 2009. P. 1–235.
15. Wiederholm T. Chironomidae of the Holarctic region. Keys and Diagnoses. Part 1. Larvae. *Entomologica scandinavica Supplement*, 1983. N. 19. P. 1–457.
16. Makrushin AV Biological analysis of water quality. L.: Nauka, 1974. 59 p. (In Russ.).
17. Sládeček V. System of water quality from the biological point of view. *Archive Fur Hydrobiology. Ergebnisse der Limnologie*. 1973. Bd. 7. 218 p.

18. Kitaev S.P. Basic limnology for hydro/biologists and ichthyologists. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2007. 395 p. (In Russ.).
19. Romashkova Yu.A. Small lakes of urbanized areas of Togliatti: taxonomic composition, structure of benthic communities. IBVV RAN, 2015. Vol. 24.N. 4. P. 32–47 (In Russ.).
20. Slukovsky Z.I., Medvedev A.S., Bubnova T.P., Syroezhko E.V., Accumulation and vertical distribution of heavy metals in the sapropel of Gryaznoe Lake (Medvezhyegorsk District, Republic of Karelia). Tr. Murmansk State Technical University. 2017. Vol. 20. No. 1–2. P. 177–188 (In Russ.).
21. Slukovsky Z.I., Polyakova T.N. Analysis of the accumulation of heavy metals in the body of oligochaetes from river bottom sediments of an urbanized environment. *Biologiya vnutrennikh vod* [Biology of Internal Waters]. 2017. No. 3. P. 73–82 (In Russ.).

**Сведения об авторе:**

**Савосин Евгений Сергеевич**, канд. биол. наук, Институт биологии Карельского научного центра Российской академии наук, Россия, 185910, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, д. 11; ORCID: 0000-0003-0650-1829; e-mail: szhenya@list.ru.

**About the author:**

**Eugeny S. Savosin**, Candidate of Biological Sciences, Institute of Biology of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, ul. Pushkinskaya, 11. Petrozavodsk, 185910, Russia; ORCID: 0000-0003-0650-1829; e-mail: szhenya@list.ru



## Гидрография, морфометрия и мониторинг современного состояния озера Джылтырбас

Б.Е. Аденбаев , С.Б. Калабаев 

✉ bahtiyor.adenbayev@mail.ru, salauat.kalabayev@mail.ru

*Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, г. Ташкент, Республика Узбекистан*

### АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** Озеро Джылтырбас является одним из водоемов, имеющих большое значение в поддержании экологического состояния Южного Приаральского региона. Изучение гидрографии, морфометрии и мониторинг современного состояния оз. Джылтырбас позволяет разработать необходимые мероприятия по сохранению экосистемы водоема, его флоры и фауны. **Методы.** Используются стандартные платформы GoogleEarth и программы SAS Planet, а также фондовые материалы Каракалпакского филиала Среднеазиатского научно-исследовательского института ирригации, информационного портала Американской геологической службы (USGS). Выявлены амплитуды колебаний уровня воды и площади зеркала озера. **Результаты.** Установлено, что за исследуемый период общий приток в озеро составил 7598,86 млн м<sup>3</sup>, отток – 4266,38 млн м<sup>3</sup>. Максимальные значения приходной и расходной частей наблюдались в 2010 г., отмечено также максимальное значение среднегодового уровня воды 52,17 м. Мониторинг гидрологического режима показывает, что ежегодное уменьшение стока р. Амударья ставит под вопрос будущее состояние экосистемы озера. Если в течение года в оз. Джылтырбас не будет поступать вода из реки и коллекторов, оно практически высохнет.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** оз. Джылтырбас, мониторинг, морфометрические характеристики, уровень воды, площадь водной поверхности, водный баланс.

**Для цитирования:** Аденбаев Б.Е., Калабаев С.Б. Гидрография, морфометрия и мониторинг современного состояния озера Джылтырбас // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2023. № 5. С. 43-53. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_5\_4.

Дата поступления 16.03.2023.

### HYDROGRAPHY, MORPHOMETRY AND MONITORING OF THE PRESENT STATE OF THE LAKE DZHILTYRBAS

Bakhtiyor E. Adenbayev , Salauat B. Kalabaev 

✉ bahtiyor.adenbayev@mail.ru, salauat.kalabayev@mail.ru

*Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan*

### ABSTRACT

**Relevance.** Lake Dzhyltyrbas is one of the water bodies of great importance in maintaining the ecological state of the Southern Aral Sea region. The study of hydrography, morphometry and monitoring of the current state of the lake Dzhyltyrbas enables to develop the necessary measures to preserve the flora and fauna of lake and a permanent ecosystem. **Methods.** We have used standard Google Earth platforms and SAS Planet programs, as well as stock materials of the Karakalpak Branch of the Central Asian Research Institute of Irrigation, and the American

Geological Survey (USGS) information portal. The amplitudes of fluctuations in the water level and the surface area of the lake have been revealed. **Results.** During the study period, the total inflow into the lake was 7598.86 million m<sup>3</sup>, and the outflow was 4266.38 million m<sup>3</sup>. The maximum values of the incoming and outgoing parts were observed in 2010, while the incoming part (Wp) was equal to 1601 million m<sup>3</sup>, and the outgoing part (Wr) was equal to 1084.1 million m<sup>3</sup>. In 2010, the maximum value of the average annual water level of 52.17 m was also observed. The monitoring of the hydrological regime shows that the annual decrease in the flow of the Amu Darya River questions the future state of the lake's ecosystem. If water from the river and collectors does not flow into the Lake Dzhylytyrbas during the year, it would practically dry up.

**Keywords:** Dzhylytyrbas Lake, water level, water surface areas, lake length, indentation of the coastline, average and maximum depth, fluctuations in water levels, water balance.

**For citation:** Adenbayev B.E., Kalabayev S.B. Hydrography, morphometry and monitoring of the present state of the Lake Dzhylytyrbas. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2023. No. 5. P. 43-53. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_5\_4.

Received 16.03.2023.

## ВВЕДЕНИЕ

До недавнего времени Южное Приаралье отличалось широким распространением озер различного происхождения [1]. Самые крупные из этих озер и водоемов до 1960-х годов, в основном, питались водой р. Амударьи. Исключение составляли отдельные мелкие озера, расположенные вдоль береговой зоны Аральского моря<sup>1</sup>, т. к. они пополнялись за счет притока морской воды, фильтрации и других факторов. По мере снижения уровня Аральского моря, уменьшения естественного поступления речных вод в дельту начали высыхать морские заливы, а также приморские и внутридельтовые озера. В годы благоприятного гидрологического режима, до 1960-х годов, в дельте Амударьи насчитывалось более 40 озер с общей площадью около 2000 км<sup>2</sup> [2]. В связи с резким уменьшением стока р. Амударьи, прекращением разливов и затоплений ее поймы, число озер и занимаемая ими площадь значительно сократились.

В настоящее время в дельте Амударьи насчитывается около 10 озер, часть которых образовалась в результате скопления в низинах сбросных и коллекторно-дренажных вод, поступающих с орошаемых массивов. Одним из таких озер является оз. Джылтырбас, образовавшееся на месте бывшего залива Джылтырбас. Водоем имеет большое значение в поддержании экологического состояния Южного Приаральского региона.

Исходя из вышеперечисленных обстоятельств, основной целью данной работы является определение основных морфометрических показателей и мониторинг современного состояния оз. Джылтырбас.

### Исходные данные и методы исследования

В ходе работы использованы фондовые материалы Каракалпакского филиала Среднеазиатского научно-исследовательского института ирригации, дельтового управления Приаралья, а также материалы Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии (МКВК), информационного портала Американской геологической службы (USGS).

<sup>1</sup> Атлас беспозвоночных Аральского моря. М.: Пищ. пром-сть, 1974. 272 с.

В исследованиях применялись методы гидрологических и водохозяйственных расчетов, географического обобщения, стандартные программы компьютерных технологий для выполнения специальных расчетов и подготовки графиков.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В целях поддержания на одном уровне (53,0 м БС) водных объектов, расположенных на побережье Южного Приаралья, были проведены исследования учеными и специалистами Каракалпакского отделения Академии наук Узбекистана (КОАНУз), Среднеазиатского научно-исследовательского института ирригации (САНИИРИ) и Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии (МКВК). С учетом сложившихся условий Среднеазиатским научно-исследовательским институтом ирригации в 1975–1980 гг. разработан проект развития системы мелководных бассейнов на обсохшем дне Аральского моря [3].

На месте бывших морских заливов в русле Амударьи были сформированы водоемы Муйнак, Сарибас, Джылтырбас, Шеге, Макпалколь и другие небольшие озера, для сохранения которых сооружены дамбы на их северных сторонах. При этом территория была разделена на шесть экологических зон, оз. Джылтырбас включено в четвертую экологическую зону. По данным Е. Курбанбаева, расположенные в этой зоне водоемы питаются в основном за счет коллекторно-дренажных вод и смешанных водотоков, формирующихся на орошаемых массивах [4].

В период 1975–1989 гг. Узгипроводхоз и Узгипромеливодхоз приступили к выполнению проектных работ по улучшению экологического состояния озер Южного Приаралья. В частности, в целях улучшения водоснабжения озер Муйнак, Сарыбас (Рыбачье) и Джылтырбас были построены каналы и проведено их наполнение [4]. Для поддержания уровня воды на северо-восточном берегу оз. Джылтырбас построена береговая дамба высотой 3–3,5 м и общей протяженностью 14 км, абсолютная отметка дамбы – 53,5 м БС (рис. 1). По проекту площадь водного зеркала оз. Джылтырбас составляет 353 км<sup>2</sup>, а объем воды – 781 млн м<sup>3</sup>. В дамбе сооружено два шлюза с пропускной способностью 130 м<sup>3</sup>/с, по которым избыточная вода сбрасывается в Аральское море.

*Гидрография.* Оз. Джылтырбас административно расположено в Муйнакском районе Республики Каракалпакстан. В восточной части озера находится Судочье-Акбеткейский государственный орнитологический заповедник, на юге – песчаные барханы, на западе – озера Майпост и Думалак, Даулбай, на севере – образовавшаяся на обсохшем дне Аральского моря песчаная пустыня Аралкумы. В юго-западной части водоема расположен населенный пункт Казахдарья, в южной – пос. Шегера [5].

Озеро Джылтырбас питается водой из канала Казахдарья и коллекторов КС-1, КС-3. Минерализация воды в озере достигает 3,4–3,5 г/л. В минеральном составе воды преобладают сульфат- и хлорид-ионы, а среди катионов – ионы натрия [6]. По величине минерализации вода относится к классу сульфатных,

умеренно соленых вод, пригодных для всех видов рыбоводства (в зависимости от объема воды в озере).

Центральная часть озера, особенно южная, окружена заболоченными тростниковыми зарослями и включает обширные заболоченные участки. Озеро Джылтырбас расположено на трансконтинентальном миграционном потоке птиц и играет важную роль в гнездовании, отдыхе и кормлении многих видов птиц [7]. Озеро окружено зарослями вереска и тамарикса, есть несколько артезианских скважин с низкой минерализацией воды (1,5–2,0 г/л) и температурой в пределах 38–40°C.



**Рис. 1.** Дамба, построенная в северо-восточной части оз. Джылтырбас.  
Fig. 1. The dyke constructed in the north-eastern part of the Lake Dzhylytyrbas.

Коллектор КС-1 является межрайонным коллектором и обслуживает участки орошаемых земель Нукусского, Чимбайского, Бозатауского районов. Общая длина коллектора – 130,2 км. Максимальное значение расхода воды составляет 42,0 м<sup>3</sup>/с. В отдельные периоды максимальная величина стока достигала 36,4 м<sup>3</sup>/с, но в последние годы она снизилась до 5,75 м<sup>3</sup>/с в связи с сокращением посевных площадей риса и уменьшением расхода воды. Минерализация воды колеблется от 1,0 до 4,8 г/л, в маловодные годы увеличивается до 6,6 г/л [8]. Тем не менее, в периоды умеренной водности качество воды в коллекторе пригодно для обводнения озер и орошения пастбищных сенокосов.

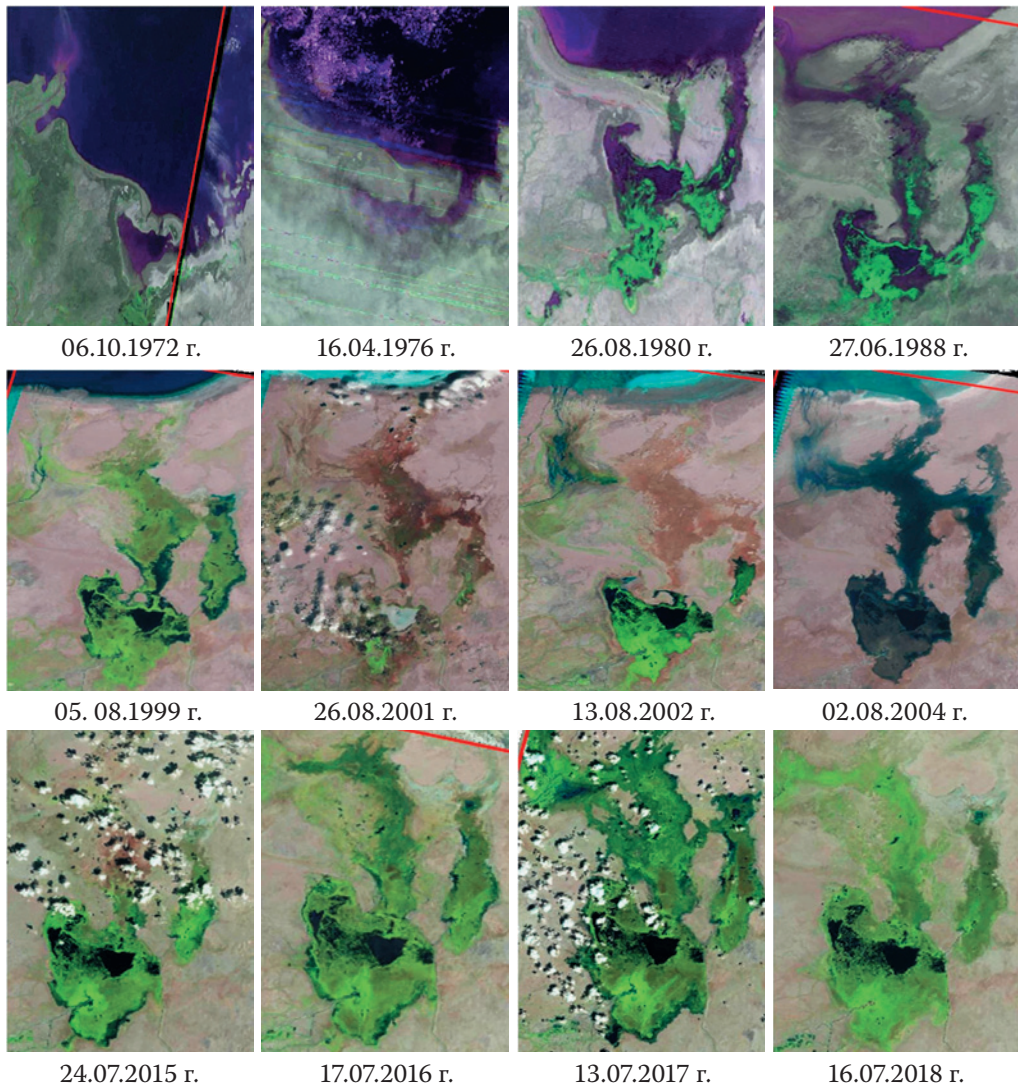
Коллектор КС-3 после инженерной реконструкции способен пропускать расход воды до 26,0 м<sup>3</sup>/с. Сокращение посевных площадей риса в зоне коллектора также привело к уменьшению расходов воды. Если в многоводные годы расход воды в коллекторе составлял от 9,54 до 25,2 м<sup>3</sup>/с, то с 2000 г. его величина не превышала 3–5 м<sup>3</sup>/с. В средние по водности годы минерализация воды колеблется от 2,2 до 5,1 г/л.

Канал Казахдарья построен в 1963–1968 гг., является крупным рукавом р. Амударья на правом берегу и впадает в оз. Джылтырбас, протекая через пос.



Казахдары. В последние годы количество воды в канале резко уменьшилось из-за сокращения речного стока. Пропускная способность канала составляет  $66 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Для определения времени отделения озера от Аральского моря и образования его как отдельного водоема изучены спутниковые данные за 1972–2018 гг. информационного портала Американской геологической службы (USGS). Из анализа спутниковых данных следует, что с 1980 г. связь между морем и заливом постепенно ослабевала, а к 1989 г. окончательно оборвалась, залив начал формироваться как отдельный водоем. Однако в результате исследований установлено, что в отдельные многоводные периоды (1992–1994 гг., 2003–2005 гг., 2010 г., 2016–2017 гг.) озеро сбрасывало свои воды в Аральское море (рис. 2).



**Рис. 2.** Спутниковые снимки оз. Джылтырбас в период 1972–2018 гг.  
Fig. 2. Satellite images of the Lake Dzhylytyrbas during the period of 1972–2018.

В целях повышения качества мониторинга озер Южного Приаралья в начале 2011 г. за счет средств проекта CAWa (CentralAsianWater) построено более 20 гидрологических постов (г/п), относящихся к дельтовому управлению Приаралья. Гидрологические посты № 14 и № 16 расположены на Казахдарье, г/п № 15 – на входе в коллектор КС-1, г/п № 19 – на входе в коллектор КС-3, г/п № 17 и № 18 расположены в двух гидротехнических сооружениях, сооруженных на северо-востоке оз. Джылтырбас [9].

По данным этих гидрологических постов изучены изменения уровня воды и морфометрические характеристики оз. Джылтырбас. Во-первых, проанализирован десятилетний режим изменения уровня воды в озере. Известно, что уровеньный режим озер изменяется под влиянием следующих факторов [10]:

- соотношения между приходными (осадки, подземные воды) и расходными (испарение, поверхностный и подземный стоки) частями водного баланса водоема;

- морфометрических характеристик озерной чаши и озерной котловины (связь с уровнем воды в озере и площадью зеркала озера);

- формы озера, деформации берегов, влияния ветра, волн.

В ходе исследований изучены десятилетние (2008–2018 гг.), годовые (сезонные) и кратковременные колебания уровня воды в оз. Джылтырбас. Амплитуда многолетних и годовых колебаний уровня воды в озере зависит от различных факторов, включая климатические условия, тип питания, водонакопление, размер озера, геологическое строение и т. д. Абсолютные значения амплитуды колебаний уровня воды естественных озер изменяются от десятков сантиметров до 2–4 м и более в зависимости от сочетания вышеперечисленных условий. В период исследований уровень воды в оз. Джылтырбас колебался от 50,63 до 52,3 м, амплитуда уровня воды в среднем составляла 1,67 м (рис. 3).

Изменение многолетних значений объема воды в озере зависит от различных факторов. Совокупность и количество этих факторов можно оценить, составив уравнение водного баланса [5]:

$$W_o + W_{AY} - W_{KO} - W_B = \pm \Delta W,$$

где  $W_o$  – объем поверхностного и подземного притока;

$W_{AY}$  – объем атмосферных осадков;

$W_{KO}$  – отток из озера;

$W_B$  – испарение с поверхности озера;

$\Delta W$  – изменение объема воды в озере за период исследования.

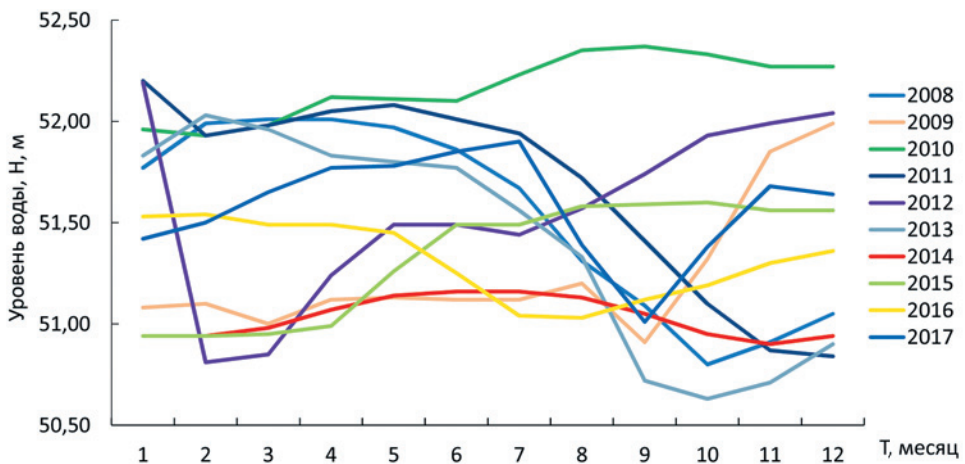
За исследуемый период (2008–2018 гг.) общий приток воды (объем поверхностного притока) в озеро составил 7598,86 млн м<sup>3</sup>, отток – 4266,38 млн м<sup>3</sup>. Максимальные значения приходной и расходной частей наблюдались в 2010 г., при этом приходная часть ( $W_p$ ) равнялась 1601 млн м<sup>3</sup>, расходная ( $W_r$ ) – 1084,1 млн м<sup>3</sup>. В результате выпадения в 2010 г. большого количества осадков наблюдалось самое высокое среднегодовое значение уровня воды – 52,17 м. Объем притока в озеро является основным фактором, влияющим на режим уровня воды, что хорошо демонстрируют анализ уравнения водного баланса и рис. 3.





**Рис. 3.** Межгодовые колебания уровня и объема воды оз. Джылтырбас.  
Fig. 3. Inter-year fluctuations of the Lake Dzhylytyrbas water level and volume.

Сезонные колебания уровня воды в озере зависят от сезонных изменений количества воды в реке и метеорологических условий. При изучении сезонных колебаний установлено, что наименьшее значение средних месячных уровней воды соответствует осеннему сезону (октябрь–ноябрь) и составляет 50,63–50,94 м, а наибольшее значение уровня воды наблюдается летом (август) – 52,3 м. Уровень воды в оз. Джылтырбас преимущественно низкий в зимние и осенние месяцы (рис. 4). Такое колебание уровня связано со стоком, поступающим из коллекторов КС-1, КС-3 и канала Казахдарья. Например, из этих водотоков в летние месяцы в озеро поступает 117–220 млн м<sup>3</sup> воды, а осенью и зимой – только 27–52 млн м<sup>3</sup>. В связи с малой испаряемостью в осенне-зимний период и высокой испаряемостью в летние месяцы амплитуда сезонных колебаний уровня воды в озере составляет 1–1,5 м.



**Рис. 4.** Изменение внутригодового распределения уровня воды в оз. Джылтырбас.  
Fig. 4. Changes of the within-year distribution of the water level in the Lake Dzhylytyrbas.

Колебания уровня воды в озере происходят в результате волнения, усиления ветра и сейш. Средняя глубина озера составляет 1,2–1,7 м, максимальная достигает 3,2 м.

*Морфометрия.* На основе ГИС-технологий составлен водный кадастр исследуемого водоема. Для этого были использованы платформы GoogleEarth и программа SAS Planet. По полученным результатам определены следующие морфометрические параметры оз. Джылтырбас (таблица).

**Таблица.** Морфометрические параметры оз. Джылтырбас  
Table. The morphometric parameters of the Lake Dzhylytyrbas

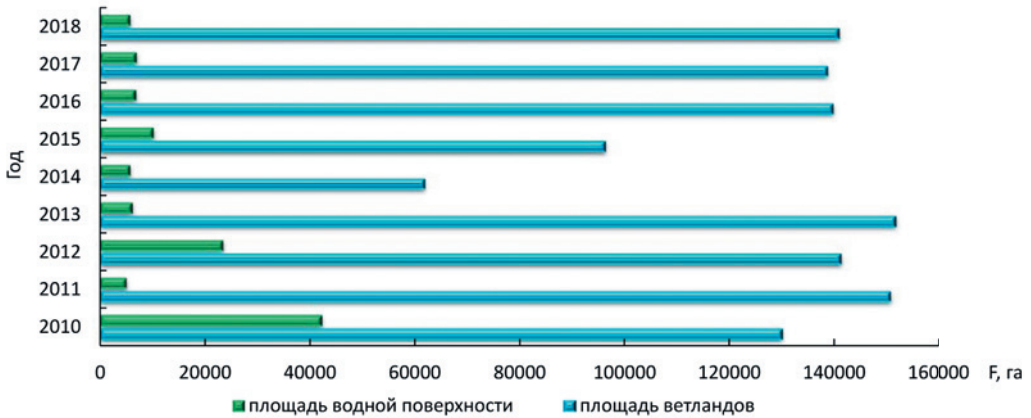
Год	Длина, км	Протяженность береговой линии, км	Максимальная ширина, км	Средняя ширина, км	Площадь зеркала, км <sup>2</sup>
2006	30,17	104,00	19,40	12,4	374,7
2010	31,70	109,62	20,0	13,4	422,6
2014	27,50	97,46	18,7	12,1	333,1
2018	31,30	105,63	19,8	12,7	398,2

Максимальную и среднюю глубину озера невозможно определить, используя Google карты или приведенные выше программы. Эти характеристики устанавливаются в результате измерений, расчетов и по топографическим картам крупного масштаба. По данным дельтового управления Приаралья за 2019 г. в оз. Джылтырбас объем воды составлял 447,1 млн м<sup>3</sup>, площадь водного зеркала – 297 млн м<sup>3</sup>, средняя глубина – 1,5 м.

*Мониторинг современного состояния озера.* В течение 2010–2018 гг. проводился мониторинг водной поверхности и площади поверхности водно-болотных угодий (ветландов) оз. Джылтырбас. За исследуемый период максимальное значение площади открытой водной поверхности озера зафиксировано в 2010 г. (42 263 га), минимальное – в 2011 г. (5060 га), т. е. за год площадь водной поверхности водоема уменьшилась в восемь раз (рис. 5).

За период 2010–2018 гг. площадь открытой водной поверхности озера демонстрировала переменную и неустойчивую динамику, водная поверхность озера значительно изменчива и неустойчива даже в течение нескольких месяцев. При изучении значений площади ветландов отмечено, что наибольшая площадь была в 2013 г. (151 629 га), минимальная – в 2014 г. (61 869 га), т. е. наблюдается уменьшение почти в 2,5 раза. В последний год периода наблюдений (2018 г.) водная поверхность озера равнялась 57 км<sup>2</sup>, а площадь водно-болотных угодий (ветландов) – 1400 км<sup>2</sup>.

Таким образом, по данным мониторинга состояния озера наибольшая приходная часть водного баланса в 2010 г. составила 1601 млн м<sup>3</sup>, расходная – 1084 млн м<sup>3</sup>. В ходе исследования установлено, что большое испарение (900–1000 мм), мелководье ( $h = 1,2–1,7$  м) и изменение количества поступающей в озеро воды резко меняют экосистему и гидрологический режим водоема. Это свидетельствует о том, что в настоящее время оз. Джылтырбас не обладает достаточными естественными условиями для устойчивого экологического состояния.



**Рис. 5.** Динамика изменения максимальной площади водной поверхности и площади ветландов оз. Джылтырбас.

Fig. 5. Dynamics of the Lake Dzhylytyrbas maximal water area and wetlands area changes.

## ВЫВОДЫ

Анализ результатов исследования позволяет сделать следующие выводы. Джылтырбас – одно из крупнейших озер (после оз. Судочье) в районе Южного Приаралья. По данным спутникового информационного портала Геологической службы США (USGS) за 1972–2018 гг. выявлено, что в 1980 г. связь залива с морем ослабла, а с 1989 г. началось формирование озера как отдельного водоема.

За исследуемый период уровень воды изменился с 50,63 до 52,3 м, амплитуда уровня воды составила 1,67 м. При изучении сезонных колебаний уровня воды оз. Джылтырбас наименьшее значение среднего месячного уровня соответствовало осеннему сезону (октябрь–ноябрь) и колебалось в пределах 50,63–50,94 м, наибольшее значение приходится на летний сезон. В связи с высокой испаряемостью в летние месяцы амплитуда сезонных колебаний уровня воды составляет 1–1,5 м.

При изучении морфометрических характеристик оз. Джылтырбас выяснилось, что максимальные значения наблюдались в 2010 г.: длина озера – 31,7 км, длина береговой линии – 110 км, максимальная ширина – 20,0 км, площадь водной поверхности – 422 км<sup>2</sup>. По состоянию на 2019 г. объем воды в озере составлял 447,1 млн м<sup>3</sup>, площадь водного зеркала – 297 км<sup>2</sup>, средняя глубина – 1,5 м.

За исследуемый период (2006–2018 гг.) максимальное и минимальное значения площади открытой водной поверхности озера различались в восемь раз. Площадь открытой водной поверхности в рассматриваемый период демонстрировала изменяющуюся и неустойчивую динамику. Наибольшая площадь заболоченного участка озера отличалась от минимального значения в 2,5 раза. В 2018 г. водная поверхность озера равнялась 57 км<sup>2</sup>, а площадь водно-болотных угодий – 1400 км<sup>2</sup>.

Как уже упоминалось выше, основным источником питания озер, расположенных в районе Южного Приаралья, являются речные и коллекторно-дре-

нажные воды. В связи с этим, гидрологический режим и морфометрические характеристики оз. Джылтырбас зависят от объема речных и коллекторно-дренажных вод. Проведение мониторинга гидрологического режима показывает, что ежегодное уменьшение стока р. Амударьи ставит под вопрос будущее состояние экосистемы озера. Если в течение года в оз. Джылтырбас не будет поступать вода из реки и коллекторов, оно практически высохнет.

*Вклад авторов. Б.Е. Аденбаев – научное руководство, постановка задачи, анализ результатов, подготовка текста. С.Б. Калабаев – сбор и обработка материалов, табличное и графическое представление результатов, оформление.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Турғунов Д.М., Султашова О.Г., Калабаев С.Б., Йўлдошбаева М.Р. Давутқўқўлининг сув сатхи хирежими / Гидрометеорология, халқароилмий-амалий конференция тўплами. Тошкент, 2021. Б. 232–235.
2. Рогов М.М., Ходкин С.С., Ревина С.К. Гидрология устьевой области Амударьи. М.: Гидрометеоиздат, 1968. 268 с.
3. Южное Приаралье – новые перспективы / под ред. проф. В.А. Духовного и Ю. Де Шуттера. Ташкент: Нори, 2003. 154 с.
4. Курбанбаев Е., Артыков О., Курбанбаев С. Интегрированное управление водными ресурсами в дельте реки Амударьи. Ташкент, 2010. 145 с.
5. Калабаев С.Б., Йўлдошбаева М.Р. Қўйи Амударё сув объектларининг гидрографик тавсифи / Ўзбекистон География жамияти. Т. 56. 2019. Б. 235–239.
6. Karimov B., Kamilov B., Upare M., Van Anrooy R., Bueno P., Shokhimardanov D. Inland capture fisheries and aquaculture in the Republic of Uzbekistan: current status and planning // FAO Fisheries and Aquaculture circular. Rome, FAO. 2009. № 1030/1. 124 p.
7. Комплексные дистанционные и наземные исследования осушенного дна Аральского моря / под ред. проф. В.А. Духовного. Ташкент: НИЦ МКВК, 2008. 190 с.
8. Константинова Л.Г. Функционирование бактериальных сообществ водоемов и водотоков Южного Приаралья в условиях антропогенного воздействия: автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. Институт микробиологии. Ташкент, 1993. 328 с.
9. Мониторинг биоразнообразия ветландов Южного Приаралья / под ред. Соколова В.И., Ташкент: Агентство МФСА, 2019. 61 с.
10. Догановский А.М. Уровенный режим озер – интегральный показатель климатических и экологических изменений // Труды V Всесоюзного гидрологического съезда. Л.: Гидрометеоиздат, 1967. С. 103–110.

### REFERENCES

1. Turgunov D.M., Sultashova O.G., Kalabayev S.B., Yuldoshbayeva M.R. Survey of the rivers' hydrological regime / *Gidrometeorologiya, khalkaroilmiy-amaliy konferentsiya tuplami* [Annual scientific-practical conference on hydrometeorology]. Tashkent, 2021. P. 232–235 (in Uzbek).
2. Rogov M.M., Khodkin S.S., Revina S.K. Hydrology of the Amu Darya River mouthpart. M.: Gidrometeoizdat, 1968. 268 p. (In Russ.).
3. Southern Aral Region: new prospects. Editors: Prof. V.A. Dukhovny and Y. De Shutter. Tashkent: Nori, 2003. 154 p. (In Russ.).
4. Kurbanbayev E., Artykov O., Kurbanbayev S. Integrated water resources management in the Amu Darya River delta. Tashkent, 2010. 145 p. (in Uzbek)
5. Kalabayev S.B., Yuldoshbayeva M.R. Objective hydrographic description of the Amu Darya River. *Uzbekiston Geografya Zhamiyati* [Uzbek Geographic Association]. V.56. 2019. P. 235–239.
6. Karimov B., Kamilov B., Upare M., Van Anrooy R., Bueno P., Shokhimardanov D. Inland capture fisheries and aquaculture in the Republic of Uzbekistan: current status and planning. *FAO Fisheries and Aquaculture circular*. Rome, FAO. 2009. № 1030/1. 124 p.

7. Integrated remote and ground surveys of the Aral Sea irrigated bottom. Editor: Prof. V.A. Dukhovny. Tashkent: NITs MKVK, 2008. 190 p. (In Russ.).
8. Konstantinova L.G. Functioning of the bacterial communities of water bodies and watercourses of the Southern Aral Region under the conditions of anthropogenic impact Avtoref. diss... d-ra boil. nauk. Institut mikrobiologii [Abstract of the biological doctoral thesis. Institute of microbiology]. Tashkent, 1993. 328 c. (In Russ.).
9. Monitoring of biological diversity of the Southern Aral Region wetlands' Editor: Sokolov V.I., Tashkent: MFSA Agency, 2019. 61 p. (In Russ.).
10. Doganovskiy A.M. The lakes' level regime as an integrated indicator of climatic and ecological changes. *Materialy V Vsesoyuznogo gidrologicheskogo kongressa. [Proceedings of V All-Union Hydrological Congress]*. L.: Gidrometizdat, 1967. P. 103–110 (In Russ.).

#### **Сведения об авторах:**

**Аденбаев Бахтиёр Ембергенович**, д-р геогр. наук, доцент, кафедра гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды, гидрометеорологический факультет, Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Узбекистан 100174, Ташкент, ул. Университетская, д. 4; ORCID: 0000-0001-5720-0861; e-mail: bahtiyor.adenbayev@mail.ru.

**Калабаев Салауат Бахитбай ули**, базовый докторант, кафедра гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды, гидрометеорологический факультет, Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Узбекистан 100174, Ташкент, ул. Университетская, д. 4; ORCID: 0000-0001-5188-7383; e-mail: salauat.kalabayev@mail.ru.

#### **About the authors**

**Bakhtiyor E. Adenbayev**, Doctor of geographical Sciences, Associate Professor, Chair of Hydro/meteorology and Environmental Monitoring. Hydro/meteorological Department, Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan, ul. Universitetskaya, 4, Tashkent, 100174 Uzbekistan; ORCID: 0000-0001-5720-0861; e-mail: bahtiyor.adenbayev@mail.ru.

**Salauat B. Kalabayev**, Basic Post-graduate Student, Chair of Hydro/meteorology and Environmental Monitoring. Hydro/meteorological Department, Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan, ul. Universitetskaya, 4, Tashkent, 100174 Uzbekistan; ORCID: 0000-0001-5188-7383; e-mail: salauat.kalabayev@mail.ru.

## Трансформация гидрологического и термического режимов реки Объяснения и бухты Золотой Рог в результате сброса морской воды с Владивостокской ТЭЦ-2

Н.Н. Бортин , А.М. Горчаков

 nbortin@mail.ru

ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Дальневосточный филиал, г. Владивосток, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** В статье рассмотрено влияние сброса морских вод после охлаждения оборудования на Владивостокской ТЭЦ-2 в р. Объяснения на гидрологический, гидрохимический и термический режимы реки и бухты Золотой Рог. Дана оценка правомерности требования нормирования сброса морских вод. **Методы.** Используются материалы натурных исследований Тихоокеанского филиала ФГБНУ «ВНИРО», Дальневосточного филиала ФГБУ РосНИИВХ и ФГБУ «Приморское УГМС». **Результаты.** Показано, что в настоящее время р. Объяснения следует рассматривать как антропогенный водный объект, измененный в результате хозяйственной деятельности для обеспечения социальных потребностей города-порта Владивосток, не обладающий свойствами природных водных объектов и утративший категорию пресноводного водного объекта рыбохозяйственного значения. В этой ситуации требование о необходимости нормирования допустимых сбросов хлоридов и сульфатов в р. Объяснения нереализуемо. Представлены возможные негативные и позитивные последствия в связи предполагаемой реконструкцией Владивостокской ТЭЦ-2 для бухты Золотой Рог.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** р. Объяснения, бухта Золотой Рог, морская вода, гидрологический и термический режим, технологический сброс, рыбохозяйственное значение, антропогенный водный объект.

**Финансирование:** Работа выполнена в рамках государственного задания «Разработка научно обоснованных показателей допустимых воздействий на водные объекты прибрежных морских акваторий залива Петра Великого (Приморский край) и рекомендаций по снижению негативного антропогенного воздействия» по разделу «Научно-аналитическое обеспечение деятельности территориальных органов Росводресурсов».

**Для цитирования:** Бортин Н.Н., Горчаков А.М. Трансформация гидрологического и термического режимов реки Объяснения и бухты Золотой Рог в результате сброса морской воды с Владивостокской ТЭЦ-2 // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2023. № 5. С. 54-70. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_5\_5.

Дата поступления 26.06.2023.



## TRANSFORMATION OF THE HYDROLOGICAL AND THERMAL REGIMES OF THE OBYASNENIYA RIVER AND THE ZOLOTOY ROG BAY RESULTED FROM SEAWATER DISCHARGE FROM THE VLADIVOSTOK HPP-2

Nikolay N. Bortin ✉, Anatoly M. Gorchakov

✉ nbortin@mail.ru

*Far Eastern Branch of Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection, Vladivostok, Russia*

### ABSTRACT

**Relevance.** The article discusses the effect of the discharge of seawater to the Obyasneniya River on the Zolotoy Rog Bay and the river hydrological, hydro/chemical and thermal regime after being used for cooling the equipment at the Vladivostok TPP-2. The legitimacy of the requirement to regulate the discharge of sea waters is assessed. **Methods.** The materials of field studies of the Pacific branch of the “VNIRO”, the Far Eastern branch of the RosNIIVH and the “Primorskoye UGMS” were used. **Results.** It has been shown that at present the Obyasneniya River should be considered an anthropogenic water body, modified due to economic activity to meet the social needs of the port city of Vladivostok, which has lost the properties of natural water bodies and has lost the category of a freshwater body of fishery significance. In this situation, the requirement for the need to ration the permissible discharges of chlorides and sulfates in the Obyasneniya River are unrealizable. Possible negative and positive consequences for the Zolotoy Rog Bay in connection with the proposed reconstruction of the Vladivostok TPP-2 are presented.

**Keywords:** Obyasneniya River, Zolotoy Rog Bay, warm seawater, hydrological and thermal regime, technological discharge, fishery significance, anthropogenic water body.

**Financing:** The work was carried out within the framework of the “Development of scientifically based indicators of permissible impacts on water bodies in the coastal marine areas of the Peter the Great Bay (Maritime Kray) and recommendations for reducing the negative anthropogenic impact” in the section “Scientific and analytical support for activities territorial bodies of Rosvodresursy.

**For citation:** Bortin N.N., Gorchakov A.M. Transformation of the hydrological and thermal regimes of the Obyasneniya River and the Zolotoy Rog Bay resulted from seawater discharge from the Vladivostok CHPP-2. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2023. No. 5. P. 54-70. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_5\_5.

Received 26.06.2023.

### ВВЕДЕНИЕ

Пятидесятые и шестидесятые годы XX столетия являются периодом начала бурного развития города-порта Владивосток, строительства новых жилых районов, включая район Минного городка в пределах водосборной территории р. Объяснения, что потребовало сооружения во Владивостоке второй ТЭЦ. Строительство Владивостокской ТЭЦ-2 (ВТЭЦ-2) было начато в мае 1965 г. и завершено в 1984 г. Запуск ВТЭЦ-2 (в составе одной турбины мощностью 100 МВт и двух котлов) состоялся 22 апреля 1970 г. При проектировании ВТЭЦ-2 по причине отсутствия во Владивостоке необходимых ресурсов пресной воды для охлаждения ее агрегатов была принята прямоточная схема использования морской воды из бухты Сухопутной Уссурийского залива и сброса теплых соленых вод в р. Объяснения, которая впадает в бухту Золотой Рог. Поскольку данный объект имел (и имеет в настоящее время) большое социальное зна-

чение для города и порта Владивосток, этот проект был согласован всеми контролирующими органами. С момента начала сброса теплых соленых вод в р. Обьяснения прошло более 50 лет.

Однако в 2022 г. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации и ПАО «РусГидро» неоднократно проводили совещания по вопросам нормирования сброса морских вод после охлаждения оборудования на Владивостокской ТЭЦ-2 в р. Обьяснения. Это было связано с исполнением предписания Росприроднадзора от 05.10.2021 г. об устранении превышений в сбросах и в воде реки предельно допустимых концентраций для рыбохозяйственных водоемов (далее – ПДК) хлоридов и необходимости оформления нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ (далее – НДС) и их учета в Декларации о воздействии на окружающую среду<sup>1</sup>.

Цель проведенного исследования – оценка правомерности требований Росприроднадзора об оформлении ПАО «РусГидро» нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ и их учета в Декларации о воздействии на окружающую среду, анализ последствий сброса теплых соленых вод с ВТЭЦ-2 на гидрологический, гидрохимический и термический режимы р. Обьяснения и бухты Золотой Рог.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Река Обьяснения берет начало на западных склонах Центрального хребта полуострова Муравьёва-Амурского (исток на высоте 100 м) и впадает в кутовую часть бухты Золотой Рог<sup>2</sup>. Длина реки – 6,2 км, площадь бассейна – 13,3 км<sup>2</sup>. По р. Обьяснения проходит административная граница между Ленинским (правый берег) и Первомайским (левый берег) районами г. Владивостока.

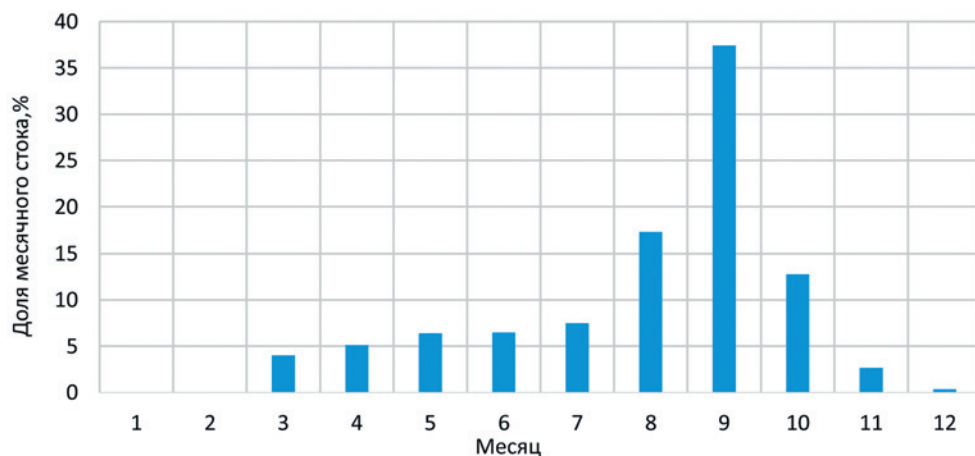
С гидрологической и экологической позиций в исторической ретроспективе состояние р. Обьяснения можно разделить на два периода: естественный – до 1902 г. и последующий период антропогенного воздействия, включая строительство ВТЭЦ-2.

Естественное русло реки изначально было узкое, овражистое, сложено песчано-галечниковыми грунтами. Долина реки пойменная, к ней примыкала крупнохолмистая местность с относительными высотами 100–140 м. В верховьях долина реки была покрыта лесом и кустарником. Дно в верховьях галечно-гравелистое, берега высотой 0,6–1,2 м. Деформация русла незначительная. Питание реки преимущественно дождевое. На его долю приходилось более 80 % годового стока, за счет подземных вод – менее 20 %. В летнее время были часты паводки (6–8 за сезон), вызываемые в основном интенсивными продолжительными дождями. Подъем воды в реке быстрый, амплитуда колебания уровня воды – до двух метров. Пойма во время паводков затапливалась на 100–120 м, образуя местами большие скопления воды.

<sup>1</sup> Письмо РусГидро от 17.03.2022 за №1843.КС статс-секретарю, заместителю министра природных ресурсов и экологии Российской Федерации Радченко С.Ю. «О сбросе морской воды после охлаждения на Владивостокской ТЭЦ- 2 (с приложениями)».

<sup>2</sup> Река Обьяснения. Примпогода. Режим доступа: [https://primpogoda.ru/articles/reka\\_ob\\_yasneniya](https://primpogoda.ru/articles/reka_ob_yasneniya). Дата обращения 06.09.2022.

Водный режим р. Объяснения в ее естественном состоянии был аналогичен водному режиму малых рек юга Приморского края. Систематических гидрологических наблюдений на реке не проводилось. Отдельные характеристики водного режима получены благодаря эпизодическим наблюдениям в предпроектный период строительства ВТЭЦ-2. Расчетный средний многолетний расход воды – 0,21 м<sup>3</sup>/с или 6654 тыс. м<sup>3</sup>/год. Расход воды 95 % обеспеченности составлял 0,032 м<sup>3</sup>/с. Внутригодовое распределение стока характеризовалось крайней неравномерностью (рис. 1).



**Рис. 1.** Распределение стока р. Объяснения в естественном состоянии внутри года.  
Fig. 1. Distribution of the Obyasneniya River fall in the natural state within year.

Период антропогенного воздействия начался с 1902 г., когда было осуществлено осушение большого участка земли на правом берегу реки ближе к устью для строительства ипподрома [1]. В 1912 г. здесь начала действовать трамвайная линия от железнодорожного вокзала до Луговой, которая проходила по ныне Светланской улице. В 1934 г. трамвайные пути перенесли на Ивановскую линию, а к концу 1964 г. ее продолжили вдоль ул. Борисенко до Сахалинской улицы. С 1935 г. начала действовать железнодорожная линия от Первой Речки через туннель им. Сталина на Луговую и далее на Чуркин. Все эти работы проводились в бассейне р. Объяснения.

К бассейну р. Объяснения примыкал бассейн ручья Буйковка (ранее назывался ручей Госпитальная падь), который в своей нижней части протекал по лугам и непосредственно впадал в бухту Золотой Рог. К началу XX в. был образован военный городок – Минный. В первой половине XX в., в связи с застройкой Владивостока, ручей был зарегулирован каскадом запруд, а ниже запруд заключен в коллектор и соединен с р. Объяснения.

Индустриальный бум р. Объяснения пережила в 1940–1950 гг. [2], когда вдоль почти всего ее русла была разбита промышленная зона. На берегах реки выросли производственные цеха, хозяйственные и административные постройки заводов.

Запуск ВТЭЦ-2 (в составе одной турбины мощностью 100 МВт и двух котлов) состоялся 22 апреля 1970 г. При проектировании станции был предусмотрен сброс подогретой после прохождения турбин морской воды в р. Объяснения и дальше в бухту Золотой Рог. Это было сделано по двум причинам: для охлаждения турбо- и котлоагрегатов (город не располагал необходимым резервом пресной воды) и чтобы часто замерзающую бухту Золотой Рог сделать более свободной для судоходства и судоремонта<sup>3</sup>.

Для охлаждения всех агрегатов требовался объем воды порядка 200 млн м<sup>3</sup>/год. В 1970 г. Владивосток снабжался водой из двух водохранилищ: построенного в 1937 г. Пионерского (полезный объем 6,25 млн м<sup>3</sup>; водоотдача 30 тыс. м<sup>3</sup>/сут, 10,6 млн м<sup>3</sup>/год) и Богатинского, построенного в 1963 г., с полезным объемом 14,5 млн м<sup>3</sup>, водоотдачей 50–80 тыс. м<sup>3</sup>/сут, 18,2–29,2 млн м<sup>3</sup>/год, а также Шкотовского подруслового водозабора на р. Шкотовка с водоотдачей 20–100 тыс. м<sup>3</sup>/сут, 7,3–36,5 млн м<sup>3</sup>/год<sup>4</sup>. Суммарный водозабор из этих источников составлял лишь половину необходимого объема для охлаждения агрегатов, оставляя Владивосток без источников питьевого водоснабжения, что, конечно, было недопустимым. Поэтому для охлаждения агрегатов ВТЭЦ-2 была принята прямоточная схема использования морской воды из Уссурийского залива, бухты Сухопутной и сбросом теплых соленых вод, после охлаждения конденсаторов турбоагрегатов и промконтуров турбинного оборудования, в р. Объяснения.

В настоящее время, в соответствии с решением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Приморского края о представлении водного объекта в пользование от 02.03.2020 № 25-20.04.00.003-Р-РСВХ-С-2020-03270/00, максимальный расход морской воды на охлаждение конденсаторов турбин и промконтура вспомогательного оборудования равен 25 тыс. м<sup>3</sup>/ч. Допустимый объем забора водных ресурсов составляет 229 млн м<sup>3</sup> за год<sup>1,5</sup>.

В городской черте русло р. Объяснения было искусственно спрямлено и частично покрыто бетонными плитами, река потеряла почти половину своей естественной длины. На рис. 2 представлен продольный профиль участка реки в современных условиях протяженностью 3,2 км от устья до выхода теплых вод с ВТЭЦ-2.

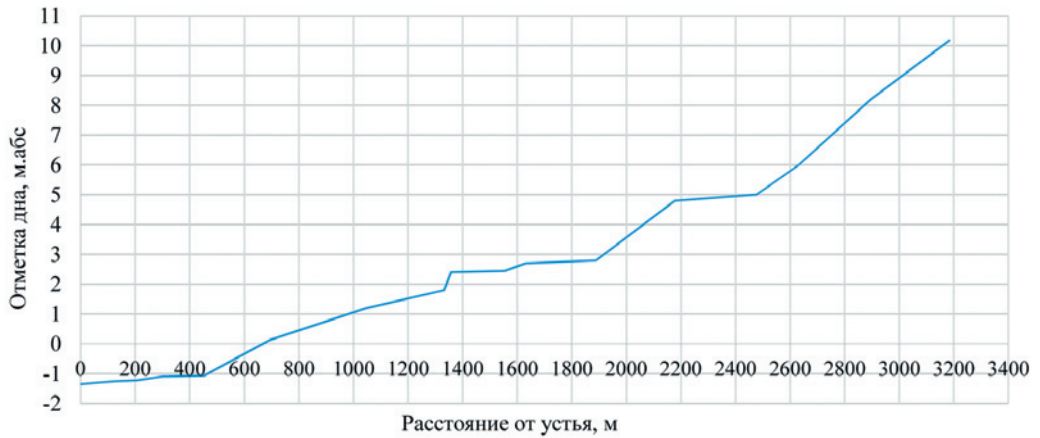
Выше ВТЭЦ-2 река состоит из двух притоков, заросших лесом и захламленных бытовыми отходами. Воды притоков р. Объяснения поступают в коллектор ВТЭЦ-2, смешиваются со сбрасываемой подогретой морской водой и далее поступают в русло реки. Ниже территории Владивостокской ТЭЦ-2 р. Объяснения представляет собой «уникальный водный объект»: это река горного типа с подогретой соленой водой, для которой характерно сильное и

<sup>3</sup> Владивостокская ТЭЦ-2. Википедия. Режим доступа: <http://ru.wikipedia>.

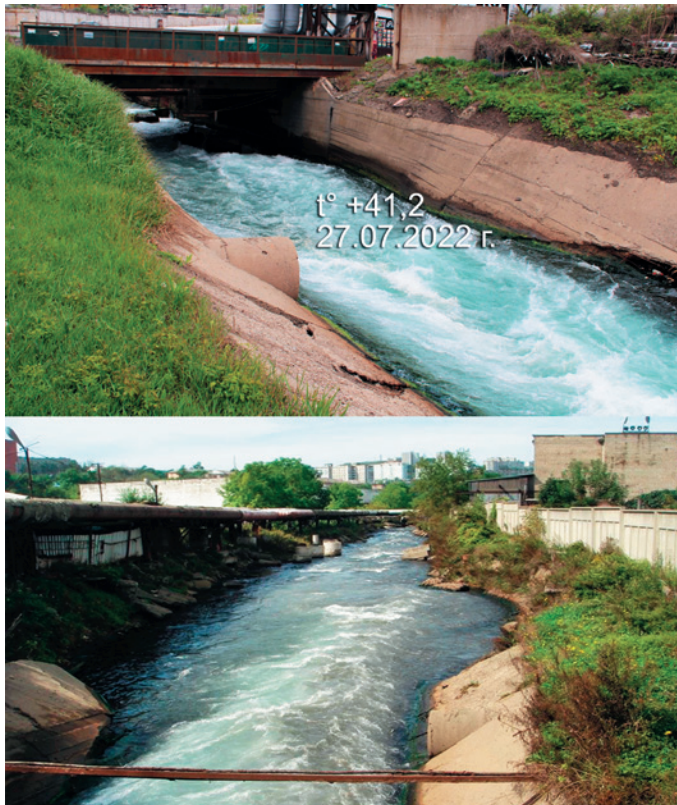
<sup>4</sup> Проблемы обеспечения населения Приморского края питьевой водой и пути их решения. Региональная целевая программа «Обеспечение населения Приморского края питьевой водой». Владивосток: Дальнаука, 2000. 388 с.

<sup>5</sup> Резюме нетехнического характера. АО ДГК. Режим доступа: <https://www.dvgk.ru/uploads/attachments/dvgk/Deyatelnost/Ecology>.

практически постоянное течение со скоростью около 2 м/с. Берегами частично служат наклонные бетонные стенки, дном – каменная наброска, переходящая в песчаный грунт (рис. 3).



**Рис. 2.** Продольный профиль участка р. Объяснения длиной 3,2 км от устья.  
 Fig. 2. Grade profile of the Obyasneniya River range of 3.2 km from the mouth.



**Рис. 3.** Река Объяснения ниже ВТЭЦ-2.  
 Fig. 3. The Obyasneniya River downstream of VTPP-2.



В настоящее время на природное распределение годового стока реки (рис. 1) ниже ВТЭЦ-2 накладывается постоянный сброс теплой морской воды порядка  $7 \text{ м}^3/\text{с}$ . Поэтому распределение стока имеет сглаженный вид (рис. 4). Общий годовое сток, включая естественный сток реки, составляет  $213,3 \text{ млн м}^3$ , распределяясь по месяцам в диапазоне  $22,3\text{--}27,3 \%$ , т. е. в течение года водообмен бухты Золотой Рог за счет сброса теплых вод с Владивостокской ТЭЦ-2 увеличивается в три раза. Несмотря на то, что с момента запуска ВТЭЦ-2 и сброса соленых теплых вод в р. Объяснения прошло более 50 лет и температура воды в реке в летний период колеблется от  $38$  до  $42 \text{ }^\circ\text{C}$ , до настоящего времени река отнесена к водным объектам 1 категории рыбохозяйственного значения. В соответствии с российским природоохранным законодательством сброс морских вод после охлаждения оборудования на Владивостокской ТЭЦ-2 в р. Объяснения считается серьезным нарушением.

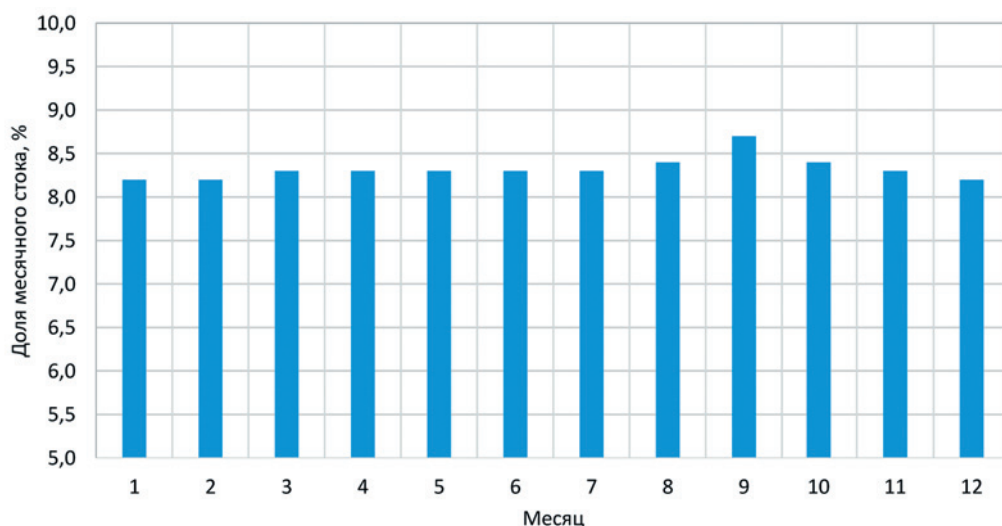


Рис. 4. Внутригодовое распределение стока р. Объяснения.

Fig. 4. The within-year distribution of the Obyaseniya River flow.

Ситуация с данным водным объектом сложилась неординарная. До ВТЭЦ-2 р. Объяснения остается пресноводным водным объектом с естественным водным режимом (перемерзает в зимний период) и замусоренной водосборной территорией, вторая половина реки, от места сброса морской воды с ВТЭЦ-2, включает не только отработанные теплые морские воды, но и стоки предприятий промышленности и ЖКХ, ливневые стоки с урбанизированной водосборной территории и не замерзает в зимний период. На водный режим и водную биоту р. Объяснения, наряду с перечисленными выше факторами, оказывает влияние и ее приток – ручей Буйковка, принимающий хозяйственно-бытовые и ливневые воды с территории прилегающего жилого микрорайона и парка Минного городка.

Изменение термического режима реки ниже ВТЭЦ-2 повлияло на термический режим вод бухты Золотой Рог, в куттовую часть которой впадает р. Обь-

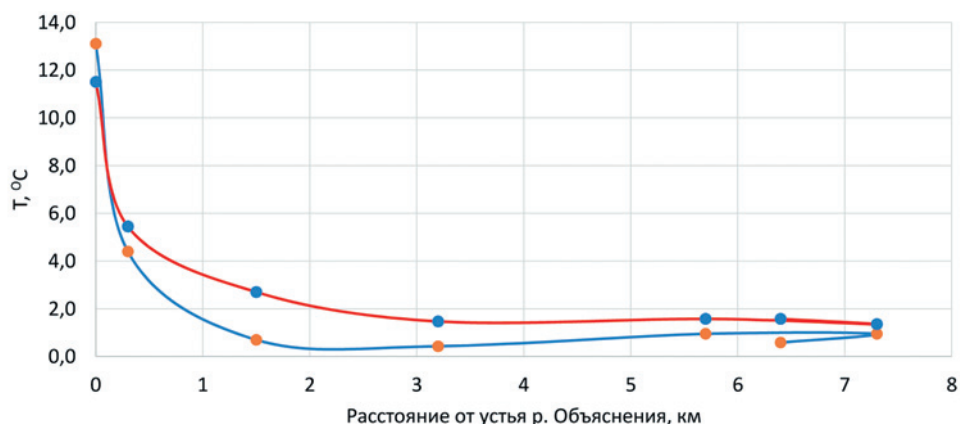


яснения. Это привело к тому, что бухта перестала замерзать, но в отдельные годы с очень низкой температурой воздуха она покрывается льдом. Так, в суровую зиму 2023 г. 24 января большая часть акватории бухты Золотой Рог покрылась льдом сплоченностью (визуально) 8–9 баллов, за исключением кутовой части и северной береговой полосы. Это влияние рассмотрено ранее в работе [3]: р. Объяснения была исследована сотрудниками Дальневосточного филиала ФГБУ РосНИИВХ (ДальНИИВХ) в ноябре 2016 г. как источник загрязнения бухты Золотой Рог. По результатам исследования установлены основные предприятия, отводящие коммунально-бытовые, производственные и ливневые сточные воды в бухту Золотой Рог, а также содержащиеся в них загрязняющие вещества, проанализировано количество и соотношение загрязняющих веществ в сточных водах данных предприятий и качество воды р. Объяснения в ее верхнем и нижнем течении (табл. 1).

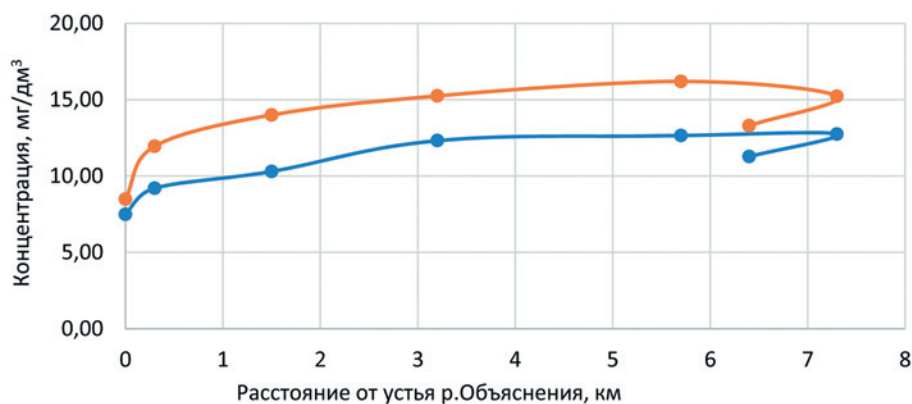
**Таблица 1.** Качество воды р. Объяснения в верхнем и нижнем течении  
Table 1. The Obyasneniya River water quality in the downstream and upstream water

Наименование показателей	Единица измерений	ПДК <sub>рх</sub>	Место отбора проб		
			В районе сброса ВТЭЦ-2	В месте впадения ручья Буяковка	Устье р. Объяснения
Окраска			Бесцветная	Светлосерая	Светлосерая
Запах	–	–	Отсутствует	Слабый фекальный	Слабый специфический
Кислород растворенный	мг/дм <sup>3</sup>	Зимой – 4,0; Летом – 6,0	10,25	8,67	7,99
Взвешенные вещества	мг/дм <sup>3</sup>	Фон + 0,25 мг	8,55	9,65	5,75
БПК <sub>5</sub>	мг/дм <sup>3</sup>	2,0	0,79	3,51	3,03
ХПК	мг/дм <sup>3</sup>	15,0	89,1	102,8	Не опр.
Аммоний-ион (по N)	мг/дм <sup>3</sup>	0,4	0,12	0,69	1,81
Нитрит-ион (по N)	мг/дм <sup>3</sup>	0,02	0,020	0,14	1,93
Нитрат-ион (по N)	мг/дм <sup>3</sup>	9,0	0,12	0,21	0,205
Фенолы летучие	мг/дм <sup>3</sup>	0,001	0,0016	0,0018	<0,001
АПАВ	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,013	0,094	Не опр.
Нефтепродукты	мг/дм <sup>3</sup>	0,05	0,1	0,006	0,086
Марганец	мкг/дм <sup>3</sup>	10,0	4,9	22,0	46,5
Железо растворенное	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,071	<0,05	0,07
Цинк	мкг/дм <sup>3</sup>	10,0	14,0	25,0	26,0
Медь	мкг/дм <sup>3</sup>	1,0	2,3	6,2	2,3
Свинец	мкг/дм <sup>3</sup>	6,0	0,47	1,8	0,44

В упомянутой статье на основе инструментальных полевых изысканий было показано, что температура воды в бухте Золотой Рог в холодный период изменяется от +13 °С в устье р. Обьяснения и до 1,5 °С – в корневой части бухты (рис. 5), а концентрация растворенного кислорода в бухте увеличивается по мере удаления от устья р. Обьяснения (рис. 6).



**Рис. 5.** Изменение температуры воды в бухте Золотой Рог по мере удаления от устья р. Обьяснения: синяя линия – 15.11.2016 г., красная – 18.11.2016 г.  
 Fig. 5. The temperature change in the Zolotoy Rog Bay in proportion to the distance from the Obyasneniya River mouth: blue line: November 15, 2016; red line: November 18, 2016.



**Рис. 6.** Содержание кислорода в бухте Золотой Рог по мере удаления от устья р. Обьяснения: синяя линия – 15.11.2016 г., красная – 18.11.2016 г.  
 Fig. 6. Oxygen content in the Zolotoy Rog Bay in proportion to the distance from the Obyasneniya River mouth: blue line: November 15, 2016; red line: November 18, 2016.

В декабре 2019 г. сотрудниками Тихоокеанского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ТИНРО) выполнена научно-исследовательская работа «Оценка текущего состояния водных биологических ресурсов и среды их обитания реки Обьяснения при реализации проекта «Реконструкция турбоагрегатов ст. №№ 1, 2, 3 и модернизация к/а ст. 1-8 Владивостокской ТЭЦ-2»<sup>1,5</sup>. В отчете констатируется,

что после строительства ВТЭЦ-2 река потеряла свое рыбохозяйственное значение, вся водная биота изменилась на устойчивые к сильной эвтрофикации крайне малочисленные теплолюбивые галофильные таксоны, что свидетельствует о высоком тепловом загрязнении воды. Отмечено также, что согласно общим требованиям к составу и свойствам воды водных объектов рыбохозяйственного значения, температура воды не должна повышаться по сравнению с естественной температурой водного объекта более чем на 5 °С с общим повышением температуры не более чем до 20 °С летом и 5 °С зимой для водных объектов, где обитают холодолюбивые рыбы (лососевые и сиговые), и не более чем до 28 °С летом и 8 °С зимой – в остальных случаях. Состояние р. Объяснения не соответствует данным требованиям. Это подтверждают и исследования, выполненные специалистами ДальНИИВХ, которые показали, что на разных участках реки ниже ВТЭЦ-2 наблюдается очень высокая температура воды (табл. 2). В 2022 г. 27 июля температура воды в р. Объяснения ниже ВТЭЦ-2 и до впадения ручья Буяковка колебалась от 41,2 °С до 38,4 °С. Температура сбрасываемой с ВТЭЦ-2 воды после охлаждения конденсаторов паровых турбин через выпуск № 1 превышала допустимые для водоемов рыбохозяйственного значения нормативы во все сезоны года.

**Таблица 2.** Температура воды в р. Объяснения в разные периоды года  
 Table 2. The Obyasneniya River water temperature un different seasons

Место измерения	Расстояние от устья реки, м	Температура воды, °С
28.02.2018 г. Температура воздуха -5 °С		
Ниже ВТЭЦ-2	3470	9,6
Мостик 2	1970	10,2
Перед впадением руч. Буяковка	500	10,2
руч. Буяковка	500	11,4
Ниже слияния ручья с рекой	400	10,3
27.07.2022 г. Температура воздуха 23 °С		
Ниже ВТЭЦ-2	3470	41,2
Мостик 1	2570	41
Мостик 2	1970	40,2
Перед впадением руч. Буяковка	500	38,4
24.01.2023 г. Температура воздуха -23 °С		
Ниже ВТЭЦ-2	3470	14,0
Мостик 2	1970	13,8
Перед впадением руч. Буяковка	500	13,4
руч. Буяковка	500	11,6
14.06.2023 г. Температура воздуха 25 °С		
Ниже ВТЭЦ-2	3470	34,2
Мостик 2	1970	33,4
Перед впадением руч. Буяковка	500	32,8
руч. Буяковка	500	21,0

По данным Тихоокеанского филиала Всероссийского научно исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, средние значения солености воды, поступающей из сбросного канала в русло р. Объяснения из ВТЭЦ-2, колеблются в районе 31,00 ‰, что соответствует значению солености воды Уссурийского залива. Пробы по БПК<sub>5</sub> не соответствуют установленным ПДК для рыбохозяйственных водных объектов, также прослеживается обратная зависимость между содержанием растворенного кислорода и БПК<sub>5</sub>. Содержание фосфатов в реке не удовлетворяет требованиям ПДК<sub>рх</sub> по всему протяжению русла. От ВТЭЦ-2 до устья концентрация нитратов постепенно увеличивается и на входе в кутовую часть составляет 301,81 мкг/л. Увеличение концентрации нитратов от места сброса воды с ВТЭЦ-2 до устья указывает на накопление и постоянное поступление загрязняющих веществ.

Река Объяснения на всем протяжении от ВТЭЦ-2 до устья имеет заросшее водорослями дно, отчетливо ощущается запах сточных вод. Ихтиоцен встречается лишь в холодный период в устьевой части реки, в зоне смешения ее вод с водами бухты Золотой Рог (порядка 500–700 м), и включает следующие виды прибрежных рыб: лобан (*Mugil cephalus*); молодь дальневосточных красноперок (*Tribolodon brandtii* и *T. hakonensis*); малоротые корюшки (виды рода *Hypomesus*); азиатская зубатая корюшка (*Osmerus dentex*); бычки (виды семейств Cottidae и Gobiidae); тихоокеанская сельдь (*Clupea pallasii*) и другие виды.

В соответствии с заключением Тихоокеанского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии о том, что после строительства ВТЭЦ-2 река потеряла свое рыбохозяйственное значение, Приморское территориальное управление Росрыболовства письмом от 14.02.2020 № 05-12/948 в адрес филиала «Приморская генерация» АО «Дальневосточная генерирующая компания» уведомило о допустимости влияния сброса соленых теплых вод в р. Объяснения на водные биологические ресурсы и среду их обитания и согласовало осуществление дальнейшей деятельности ВТЭЦ-2 по сбросу соленых теплых вод в р. Объяснения.

С учетом заключения Росрыболовства о допустимости влияния сброса морских теплых вод на водные биологические ресурсы и среду их обитания Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Приморского края выдано «Решение о представлении водного объекта в пользование (река Объяснения бассейна Японского моря) Владивостокский городской округ». Срок водопользования установлен с 2 марта 2020 г. по 2 марта 2025 г.<sup>1,5</sup>

В соответствии с Приказом Минсельхоза России<sup>6</sup> и вышеупомянутым предписанием Росприроднадзора<sup>1</sup>, качество воды в р. Объяснения в месте сброса ВТЭЦ-2 соленых теплых вод не должно превышать допустимых концентраций веществ для пресноводных водных объектов рыбохозяйственного значения. Предписанием Росприроднадзора установлен срок оформления нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ (17.01.2022) и их учет

<sup>6</sup> Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

в Декларации о воздействии на окружающую среду. Как справедливо отмечает ПАО «РусГидро», разработка НДС на основании ПДК пресных водоемов при использовании в контуре охлаждения морских теплых вод приведет к фактической невозможности их достижения. Очистку сбросов соленых теплых вод до параметров пресной воды технически невозможно реализовать. Создать изолированный канал (коллектор) сброса воды в бухту Золотой Рог, минуя р. Объяснения, также невозможно по причине расположения ВТЭЦ-2 в черте городской застройки и освоенности прилегающей территории<sup>1</sup>.

Учитывая, что решение о строительстве ВТЭЦ-2 имело большое социальное значение для развития города-порта Владивосток, а для охлаждения агрегатов станции город не располагал и не располагает до настоящего времени необходимыми пресноводными ресурсами, органами власти было принято единственно правильное, безальтернативное решение о заборе морской воды из Уссурийского залива и сбросе подогретой после прохождения турбин морской воды в р. Объяснения и далее в бухту Золотой Рог. Возражений на момент проектирования и строительства станции у природоохранных органов и Росрыболовства не было: проект был одобрен и реализован.

Рассмотрим кратко, как сложившаяся ситуация отразилась на гидрологическом режиме бухты Золотой Рог, какие изменения с момента образования порта Владивосток произошли с ее морфометрическими характеристиками, каковы перспективы развития порта и ВТЭЦ-2 и как технологические сбросы теплых соленых вод повлияли на изменения гидрохимического и термического режимов бухты Золотой Рог.

Бухта Золотой Рог – объект комплексного водопользования, подверженный значительному антропогенному воздействию. С начала образования порта до настоящего времени произошла существенная трансформация ее морфометрических характеристик: площадь бухты уменьшилась на 19 %; объем – на 5 %; средняя глубина за счет изъятия мелководных прибрежных участков увеличилась на 1,4 м; строительство городской агломерации изменило ландшафт водосборной территории. Строительство причалов в районе береговой полосы и части акватории привело к засыпке мелководной зоны бухты, что ухудшило процессы водообмена вдоль береговой линии. Бухта и впадающая в нее р. Объяснения стали приемниками сточных вод предприятий и ливневых вод с урбанизированной территории, в результате этого произошло значительное загрязнение вод и донных отложений. До настоящего времени в бухту ежегодно сбрасывается свыше 14 млн м<sup>3</sup> сточных вод, из них более 9 млн м<sup>3</sup> – без очистки<sup>7</sup> [4–8].

Бухта Золотой Рог является частью «Свободного порта Владивосток», для которого, в соответствии с Федеральным законом<sup>8</sup>, установлены меры государственной поддержки предпринимательской деятельности, направленные на расширение трансграничной торговли, развитие транспортной

<sup>7</sup> Приморские эксперты о Золотом Роге: У семи няnek бухта в грязи. Режим доступа: <https://ria.ru/vl/20131204/981747762.html>.

<sup>8</sup> Федеральный закон «О свободном порте Владивосток» от 13.07.2015. № 212.

инфраструктуры и включения Приморского края в глобальные транспортные маршруты. Закон о придании порту Владивосток статуса порто-франко вступил в силу 12 октября 2015 г. Основная цель данного закона – наращивание товарооборота в портовых зонах Приморского края, превращение их в крупнейшие перевалочные пункты Азиатско-Тихоокеанского региона. По прогнозам аналитиков, реализация проекта «Свободный порт Владивосток» позволит увеличить валовый продукт Приморья к 2034 г. почти в 3,5 раза. Доминирующая роль в реализации этой задачи возложена на терминалы порта бухты Золотой Рог.

В связи с открытием «Свободного порта Владивосток», антропогенная нагрузка на акваторию бухты существенно увеличивается. В настоящее время в районе береговой полосы бухты расположено 18 морских терминалов, планируется реконструкция Владивостокской ТЭЦ-2. По проекту 1970-х годов объем забора и сброса морской воды, необходимой для охлаждения оборудования, будет восстановлен до проектных значений 49 200 м<sup>3</sup>/ч (13,7 м<sup>3</sup>/с). На стадии проектирования будут пересогласованы установленные лимиты (25 000 м<sup>3</sup>/ч или 6,94 м<sup>3</sup>/с)<sup>5</sup>.

Какие последствия можно спрогнозировать в связи с предполагаемой реконструкцией ВТЭЦ-2 для бухты Золотой рог и порта Владивосток?

*Негативные последствия.* Увеличение в два раза объема сброса теплых вод с ВТЭЦ-2 невозможно в условиях современной емкости русла р. Объяснения, для этого необходимо будет либо расширить участок русла реки от ВТЭЦ-2 до устья, что невозможно в связи с плотной застройкой поймы, либо углубить (практически в два раза) русло и проложить на этом участке закрытый коллектор с пропускной способностью 13,7 м<sup>3</sup>/с.

Как отмечено в Постановлении № 3899 «Об утверждении схем водоснабжения и водоотведения Владивостокского городского округа на период 2014–2025 гг.», земельные участки вдоль реки не муниципальные – либо в чьем-то пользовании, либо не разграниченные. Согласно генеральному плану развития территории Владивостокского городского округа, там расположены общественно-деловые, жилые, смешанные, производственные зоны, зона инженерной и транспортной инфраструктур. Сам водный объект, включая побережье, находится в ведении субъекта Российской Федерации. По Водному кодексу Российской Федерации, приватизация побережья (территория водоохранной зоны) запрещена<sup>9,10</sup>.

*Позитивные последствия.* Как отмечено выше, технологические сбросы морских теплых вод с ВТЭЦ-2 в настоящее время привели к увеличению водообмена бухты Золотой Рог более чем в три раза, что обусловило:

- улучшение качества воды в бухте по гидрохимическим показателям;
- улучшение кислородного режима вод бухты;

<sup>9</sup> Администрация города Владивостока. Постановление от 31 декабря 2013 г. № 3899 «Об утверждении схем водоснабжения и водоотведения Владивостокского городского округа на период 2014-2025 гг.». Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/432855836>.

<sup>10</sup> Река Объяснения во Владивостоке избавляется от канализационных стоков и ждет регенерации. Режим доступа: <https://primamedia.ru/news/>.



– изменение термического режима и улучшение условий навигации в бухте в зимний период.

Дополнительный сброс теплых вод с ВТЭЦ-2 в перспективе улучшит состояние качества воды бухты Золотой Рог, в зимний период предотвратит возможное замерзание зон, где расположены инфраструктура Дальзавода и Владивостокского морского порта, что позволит вести навигацию судов круглый год. Дополнительный объем сброса теплых вод с ВТЭЦ-2 снизит уровень загрязнения воды в застойных зонах бухты Золотой Рог за счет гидродинамического переноса загрязняющих веществ и будет способствовать увеличению самоочищающей (ассимиляционной) способности экосистемы бухты в целом. Тем более, что бухта Золотой Рог гидравлически связана с проливом Босфор Восточный [9–11].

Как отмечено выше, несмотря на то что с момента запуска ВТЭЦ-2 и сброса соленых теплых вод в р. Объяснения прошло более 50 лет, до настоящего времени река, по данным Приморского территориального управления Росрыболовства, отнесена к водоемам 1 категории рыбохозяйственного значения. По результатам исследований Тихоокеанского филиала ФГБНУ «ВНИРО» р. Объяснения ниже сброса теплых вод с ВТЭЦ-2 не соответствует общим требованиям к составу и свойствам воды водных объектов рыбохозяйственного значения<sup>5</sup>. Очевиден вопрос: к какой же категории в современных условиях с учетом антропогенной нагрузки следует отнести водохозяйственный объект – р. Объяснения?

В соответствии с Федеральным законом Российской Федерации «Об охране окружающей среды»<sup>11</sup> выделены следующие понятия:

– природно-антропогенный объект – природный объект, измененный в результате хозяйственной или иной деятельности, и (или) объект, созданный человеком, обладающий свойствами природного объекта и имеющий рекреационное и защитное значение;

– антропогенный объект – объект, созданный человеком для обеспечения его социальных потребностей и не обладающий свойствами природных объектов.

Река Объяснения разделена по длине на два участка: от истока до ВТЭЦ-2 – участок с естественным водным режимом, от ВТЭЦ-2 до устья – с измененным в результате хозяйственной деятельности. Первый участок реки, несмотря на незначительную застройку его водосборной территории, является природным водным объектом, сохранившим естественную экологическую систему, природный ландшафт и соответствующие им элементы и свойства. Второй участок – это антропогенный водный объект, измененный в результате хозяйственной деятельности для обеспечения социальных потребностей и не обладающий свойствами природных водных объектов. Данный участок реки испытывает в настоящее время следующие виды воздействия: привнос тепла; сброс морской воды, что привело к превышению предельно допустимых концентраций солей хлоридов и сульфатов, установленных для пресно-

<sup>11</sup> Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002. № 7-ФЗ.

водного водного объекта рыбохозяйственного значения; привнос химических веществ от стоков ЖКХ и других предприятий города.

Поскольку, как отмечено выше, первые два вида воздействия являются следствием обеспечения социальных потребностей города-порта Владивосток, а хлориды и сульфаты не обладают канцерогенными, мутагенными свойствами, относятся к IV классу опасности и практически не оказывают влияния на окружающую среду, ПАО «РусГидро» не должно оформлять нормативы допустимых сбросов загрязняющих веществ с учетом требований Декларации о воздействии на окружающую среду. Третий вид воздействия не относится к деятельности ВТЭЦ-2, это проблема города-порта Владивосток, и она в значительной степени будет решена с вводом в эксплуатацию Южных очистных сооружений.

### ВЫВОДЫ

В настоящее время р. Объяснения следует рассматривать как антропогенный водный объект, измененный в результате хозяйственной деятельности для обеспечения социальных потребностей города-порта Владивосток, не обладающий свойствами природных водных объектов и утративший категорию пресноводного водного объекта рыбохозяйственного значения. В сложившейся ситуации требование о необходимости нормирования допустимых сбросов хлоридов и сульфатов в р. Объяснения нереализуемо.

Сброс теплой морской воды с ВТЭЦ-2 после охлаждения оборудования в реку и далее в бухту Золотой Рог обеспечивает решение социально-экологических проблем города-порта Владивосток:

- позволяет экономить значительные объемы пресной воды;
- снижает уровень загрязнения воды в застойных зонах бухты Золотой Рог в результате увеличения, более чем в три раза, водообмена за счет сбрасываемой с ВТЭЦ-2 теплой морской воды;
- предотвращает замерзание бухты Золотой Рог в зимний период, что дает возможность осуществлять навигацию судов круглый год.

Считаем правомерным выводы «РусГидро» о том, что исключение сбросов теплых соленых вод с ВТЭЦ-2 в р. Объяснения приведет к ухудшению экологического состояния реки, бухты Золотой Рог и прилегающей к ней части Владивостока.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марус Я.В., Казанцев П.А. Регенеративное проектирование как основа восстановления городских экосистем Владивостока (на примере реки Объяснения) // Вестник инженерной школы ДВФУ. 2018. № 1(34). С. 91–102.
2. Зайцева Е., Балашов А. Ипподром, первые полеты авиаторов, стадион и рынок: богатая, но почти забытая история владивостокской реки Объяснения. Режим доступа: <http://www.newsvl.ru/vlad/2016/09/29/152094/>.
3. Бортин Н.Н., Крапивенцев Н.В., Горчаков А.М., Белевцов А.А., Дьяченко К.Н. Река Объяснения как источник загрязнения бухты Золотой Рог / Сб. докладов XIV международного научно-практического симпозиума «Чистая вода России», 18–20 апреля 2017 г., Екатеринбург. С. 205–211.

4. Бортин Н.Н. Последствия антропогенного воздействия на бухту Золотой Рог и ее водосборную территорию / Сб. докладов XI Международного экологического форума «Природа без границ», 30–31 октября 2017. Владивосток. С. 59–61.
5. Бортин Н.Н., Дьяченко К.Н., Зверев А.В., Спесивцева Е.Е. Оценка воздействия портовых сооружений на прибрежные морские акватории (на примере залива Петра Великого Японского моря) / Сб. докладов XVI международного научно-практического симпозиума «Чистая вода России», 17–20 мая 2021 г., Екатеринбург. С.15–21.
6. Ермолицкая М.З., Кочетова О.А. Гидрохимическое исследование бухты Золотой Рог за 2008–2009 годы // Вестник Морского государственного университета. Сер. Теория и практика защиты моря. Вып. 41/2010. С. 17–21.
7. Бабко С., Станов Р. Бухта Золотой рог на грани экологической катастрофы // Дальневосточное бюро «ТВ Центра». Владивосток, 2013. Режим доступа: <http://www.tvc.ru/news/show/id/26641/slider>.
8. Ростов И.Д., Рудых Н.И., Ростов В.И. Межгодовая динамика уровня загрязненности акваторий залива Петра Великого за последние 40 лет // Вестник ДВО РАН. 2015. № 6. С. 49–63.
9. Совга Е.Е., Мезенцева И.В. Методические аспекты оценок самоочистительной способности морских мелководных экосистем (заливов, бухт, портов) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2017. С. 57–68.
10. Бортин Н.Н., Милаев В.М., Горчаков А.М., Белевцов А.А. К определению нормативов допустимого воздействия по привносу химических и взвешенных веществ на прибрежные морские акватории Японского моря на примере бухты Золотой Рог / Тезисы докладов Всероссийской научн. конф. «Моря России: исследования береговой и шельфовой зон (XXVIII береговая конференция)». Севастополь, 2020. С. 367–369.
11. Бортин Н.Н., Горчаков А.М., Милаев В.М., Белевцов А.А. Методические подходы к определению НДВ по химическим и взвешенным веществам на прибрежные морские акватории (на примере отдельных бухт залива Петра Великого Японского моря) / Сб. докладов XVI между. научно-практ. симпозиума «Чистая вода России», 17–20 мая 2021. Екатеринбург. С. 4–14.

## REFERENCES

1. Marus Y.V., Kazantsev P.A. Regenerative designing as a basis for restoration of the urban ecosystems of Vladivostok (the Obyasneniya River as a study case). *News bulletin of the Far Eastern Federal University Engineering School*. 2018. No. 1(34). P. 91–102 (In Russ.).
2. Zaytseva E., Balashov A. Race track, first flights of aviators, stadium, and market: rich but almost forgotten history of the Vladivostok Obyasnenia River. Access regime: <http://www.newsvl.ru/vlad/2016/09/29/152094/> (In Russ.).
3. Bortin N.N., Krapiventsev N.V., Gorchakov A.M., Belevtsov A.A., Dyachenko K.N. The Obyasneniya River as a source of pollution for the Zolotoy Rog Bay. *Proceedings of XIV International Scientific/practical Symposium "Clean Water of Russia"*, April 18-20, 2017, Ekaterinburg. P. 205–211 (In Russ.).
4. Bortin N.N. Consequences of anthropogenic impact upon the Zolotoy Rog Bay and its catchment territory. *Proceedings of XI International Ecological Forum "Nature without Borders"*, October 30-31, 2017, Vladivostok. P. 59–61 (In Russ.).
5. Bortin N.N., Dyachenko K.N., Zverev A.V., Spesivtseva E.E. Assessment of the port facilities' impact on the offshore marine water areas (the Peter the Great bay of the Sea of Japan as a study case). *Proceedings of XIV International Scientific/practical Symposium "Clean Water of Russia"*, May 17-20, 2021, Ekaterinburg. P.15–21 (In Russ.).
6. Yermolitskaya M.Z., Kochetova O.A. Hydro/chemical survey of the Zolotoy Rog Bay over 2008–2009. *News bulletin of the Marine state University, Series: Theory and practice of sea protection*. Вып. 41/2010. P. 17–21 (In Russ.).
7. Babko S., Stanov R. The Zolotoy Rog Bay on the verge of environmental disaster. *Far Easter Bureau of "TV Center"*. Vladivostok. 2013. Access regime: <http://www.tvc.ru/news/show/id/26641/slider> (In Russ.).

8. Rostov I.D., Rudykh N.I., Rostov V.I. Inter-year dynamics of the pollution level of the Peter the Great Bay over the past 40 years. *News bulletin of the Far Easter Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2015. No. 6. P. 49–63 (In Russ.).
9. Sovga E.E., Mezentseva I.V. Methodical aspects of estimations of the marine shallow-water ecosystems (bays and ports) self-purification ability. *Ecological safety of the seashore and offshore zones*. 2017. P. 57–68 (In Russ.).
10. Bortin N.N., Milayev V.M., Gorchakov A.M., Belevtsev A.A. On determination of the norms of permissible impact in terms of input of chemical and suspended substances to the offshore marine water areas of the Sea of Japan with the Zolotoy Rog Bay as an example. *Abstracts of the reports on All-Russian Scientific conference "Seas of Russia: Surveys of the shore and offshore zones" (XXVIII Shore Conference)*. Sevastopol, 2020. P. 367–369 (In Russ.).
11. Bortin N.N., Gorchakov A.M., Milayev V.M., Belevtsev A.A. Methodical approaches to determination of the norms of permissible impact in terms of chemical and suspended substances on offshore marine water areas (with some bays of the Peter the Great bay of the Sea of Japan as examples). *Proceedings of XIV International Scientific/practical Symposium "Clean Water of Russia"*, May 17-20, 2021. Ekaterinburg. P. 4–14 (In Russ.).

**Сведения об авторах:**

**Бортин Николай Николаевич**, д-р геогр. наук, руководитель, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Дальневосточный филиал, Россия, 690002, Владивосток, а/я 124, Некрасовская 53 Б; e-mail: nbortin@mail.ru

**Горчаков Анатолий Михайлович**, канд. геогр. наук, главный специалист, водохозяйственный отдел, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Дальневосточный филиал, Россия, 690002, Владивосток, а/я 124, Некрасовская 53 Б; e-mail: goram150341@gmail.com

**About the authors:**

**Nikolay N. Bortin**, Doctor of Geographic Sciences, Head, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection Far Eastern Branch, ul. Nekrasovskaya, 53B, P.O. Box 124, Vladivostok, 690002, Russia; e-mail: nbortin@mail.ru

**Anatoly M. Gorchakov**, Candidate of Geographical Sciences, Chief Specialist, Water Management Department, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection Far Eastern Branch, ul. Nekrasovskaya, 53B, P.O. Box 124, Vladivostok, 690002, Russia; e-mail: goram150341@gmail.com

## Оценка влияния абиотических факторов на гетеротрофные бактериоценозы воды и донных отложений в северной части Каспийского моря

Д.Г. Баубекова  , В.В. Проскурина 

 suslig.zenia@mail.ru

*Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Астрахань, Россия*

### АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** В условиях дальнейшего развития промышленности Каспийского региона одной из основных природоохранных проблем является реализация устойчивых мер экологического мониторинга акватории Каспийского моря, в частности, проведение комплексных наблюдений за состоянием экосистем Каспия. В рамках поставленной задачи проведена оценка влияния абиотических факторов – гидрологического и температурного режимов – на изменение численности групп гетеротрофных бактерий в северной части Каспийского моря в весенний, летний и осенний периоды 2020–2021 гг. **Методы.** Использованы стандартные микробиологические методы исследований, проведен анализ статистических и полевых данных. **Результаты.** Анализ сезонной динамики показал, что на всех этапах исследований количественные показатели сапротрофов были обусловлены воздействием природных факторов: половодьем, стоком Волги, температурным режимом. При этом обнаружено менее выраженное влияние температурного и гидрологического режимов на численность нефтеокисляющих бактерий, что, возможно, связано с особенностями метаболизма нефтедеструкторов. Концентрация сапротрофной группы была больше по отношению к нефтеокисляющей на протяжении всего периода проведенных исследований, что вполне закономерно и косвенно указывает на незначительное содержание нефти и ее производных на изучаемой акватории Северного Каспия. Наблюдаемые изменения микробиологических параметров исследуемых групп гетеротрофов связаны с сезонными условиями и абиотическими факторами.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** бактериопланктон, бактериобентос, гетеротрофы, сапротрофные бактерии, нефтеокисляющие бактерии, нефтедеструкторы, абиотические факторы, Северный Каспий.

**Для цитирования:** Баубекова Д.Г., Проскурина В.В. Оценка влияния абиотических факторов на гетеротрофные бактериоценозы воды и донных отложений в северной части Каспийского моря // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2023. № 5. С. 71-84. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_5\_6.

Дата поступления 23.01.2023.



## ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF SOME ABIOTIC FACTORS ON HETEROTROPHIC BACTERIOCOENOSIS OF WATER AND BOTTOM SEDIMENTS IN THE NORTHERN PART OF THE CASPIAN SEA

Dinara G. Baubekova  , Victoria V. Proskurina 

 suslig.zenia@mail.ru

*Volga-Caspian Branch All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography, Astrakhan, Russia*

### ABSTRACT

**Relevance.** The article presents data on the abundance of saprotrophic and oil-oxidizing bacterioplankton and bacteriobenthos in the waters of the Northern Caspian in the spring, summer and autumn periods of research in 2020–2021. The influence of abiotic factors, such as hydrological and temperature regimes, on the abundance of the studied groups of heterotrophic bacteria in the northern part of the Caspian Sea was assessed. **Methods.** We used standard microbiological research method, and analyzed statistical and field data. **Results.** The analysis of seasonal dynamics has shown that at all stages of research, the quantitative indicators of saprotrophs were caused by the influence of natural factors: floods, the Volga River flow, and temperature regime. At the same time, a less pronounced effect of temperature and hydrological regimes on the number of oil-oxidizing bacteria was found, which might be due to the peculiarities of the metabolism of oil decomposers. The concentration of the saprotrophic group was higher in relation to the oil-oxidizing group throughout the entire period of the studies, which quite naturally and indirectly indicates a low content of oil and its derivatives in the studied water area of the Northern Caspian. The observed changes in the microbiological parameters of the studied groups of heterotrophs are associated with seasonal conditions and abiotic factors.

**Keywords:** bacterioplankton, bacteriobenthos, heterotrophs, saprotrophic bacteria, oil-oxidizing bacteria, oil destructors, abiotic factors, Northern Caspian.

**For citation:** Baubekova D.G., Proskurina V.V. Assessment of the influence of some abiotic factors on heterotrophic bacteriocoenosis of water and bottom sediments in the northern part of the Caspian Sea. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2023. No. 5. P. 71–84. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_5\_6.

Received 23.01.2023

### ВВЕДЕНИЕ

Каспийское море располагается на границе двух частей Евразийского материка и является крупнейшим водоемом, не имеющим выхода к Мировому океану. Основываясь на особенностях морфологического строения и физико-географических условий, Каспий условно можно разделить на три части – Северный, Средний и Южный [1–3]. Каспийское море, как и прилегающие к нему сухопутные территории, богато различными биологическими ресурсами. При этом разнообразие флоры и фауны Каспия сравнительно невелико, однако отличается высоким эндемизмом [4, 5].

В настоящее время одной из основных природоохранных задач является реализация устойчивых мер экологического мониторинга акватории Каспийского моря при дальнейшем развитии промышленности Каспийского региона, в частности, проведение комплексных наблюдений за состоянием экосистем Каспия. Нефтяная, газовая и рыболовная отрасли не только вносят существенный вклад в развитие экономики государств региона, но и оказывают наибольшее влияние на экологическую систему Каспийского моря, т. к. имен-

но с их деятельностью связаны основные риски негативного воздействия на окружающую среду<sup>1</sup> [6–9]. Проведение экологического мониторинга является важным аспектом современной оценки состояния Каспийского моря.

Основной вклад в процессы биохимического разрушения нефтяных углеводородов вносят микроорганизмы, способные внутриклеточно использовать их в качестве дополнительного источника углерода и энергии [10–12]. К таким бактериям относятся нефтеокисляющие бактерии или нефтедеструкторы. Данные микроорганизмы являются частью гетеротрофного микробного сообщества и присутствуют как в загрязненных, так и в незагрязненных экосистемах<sup>2</sup> [13, 14]. Однако поступление нефти и нефтепродуктов в экосистему вносит дополнительный источник углерода, который стимулирует развитие данной группы бактерий [15–17].

Связь между численностью нефтеокисляющих бактерий и количеством нефтеуглеводородов в морской среде не всегда выражена, однако изучение численности и особенностей пространственного распределения нефтедеструкторов относительно акватории Каспийского моря является в настоящее время весьма важным аспектом экологического мониторинга.

Сапротрофная группа бактериоценозов Каспийского моря также представляет интерес для микробиологических исследований. Сапротрофы – это обширная группа гетеротрофов, изучение количественных показателей которой лежит в основе санитарно-бактериологического контроля водоемов, позволяет оценить степень загрязнения и качество исследуемых вод.

Помимо антропогенного влияния значительное воздействие на экосистемы Каспия продолжают оказывать абиотические факторы, корректирующие распределение и развитие тех или иных групп макро- и микроорганизмов в биоценозе региона [18, 19].

Целью проведенного в 2020–2021 гг. исследования являлась оценка влияния некоторых абиотических факторов на гетеротрофные бактериоценозы воды и донных отложений в северной части Каспийского моря.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объекты исследования – морская вода поверхностного и придонного горизонтов, а также донные отложения. Отбор проб морской воды и грунта для микробиологических исследований проводили в весенний (60 проб), летний (192 пробы) и осенний (60 проб) периоды 2020–2021 гг. в соответствии с нормативной документацией<sup>3,4</sup> с помощью батометра ГР–18 и дночерпателя «Океан–50» в стерильные полимерные контейнеры.

<sup>1</sup> Каспийское море. Состояние окружающей среды // Доклад Временного Секретариата Рамочной конвенции по защите морской среды Каспийского моря (Тегеранской конвенции). 2019. 147 с.

<sup>2</sup> Методические указания по санитарно-бактериологической оценке рыбохозяйственных водоемов. М.: Министерство сельского хозяйства и природопользования РФ, 1999. 18 с.

<sup>3</sup> ГОСТ 17.1.5.01–80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. 5 с.

<sup>4</sup> ГОСТ 31942–2012. Вода. Отбор проб для микробиологического анализа. М.: Стандартиформ, 2013. 27 с.

Микробиологические исследования осуществляли согласно общепринятым методикам определения количества клеток [20, 21] путем высева соответствующих разведений на специализированные плотные питательные среды (питательный агар, среда Теппер) в пяти повторностях. Десорбцию микроорганизмов донных отложений проводили путем десятиминутного встряхивания суспензии первого разведения с навеской грунта. Для определения сапротрофных бактерий соответствующее разведение полученной суспензии высевали на питательный агар, для определения нефтеокисляющих бактерий использовали среду Теппер с добавлением 1,00 % сырой нефти в качестве единственного источника углерода<sup>5,6</sup> [14, 20, 21]. После инкубирования подсчитывали количество выросших на агаре колоний: для сапротрофных бактерий – через 72 ч, нефтеокисляющих – через 72–144 ч.

Коэффициент корреляции Пирсона рассчитывали общепринятыми статистическими методами [22, 23]. Оценку разброса данных в экспериментах проводили подсчетом средних величин и среднего квадратичного отклонения для выявления доверительного интервала при 95 % уровне значимости. Результаты экспериментов обрабатывали стандартными методами математической статистики с помощью пакета программы Microsoft Excel, Statistica.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

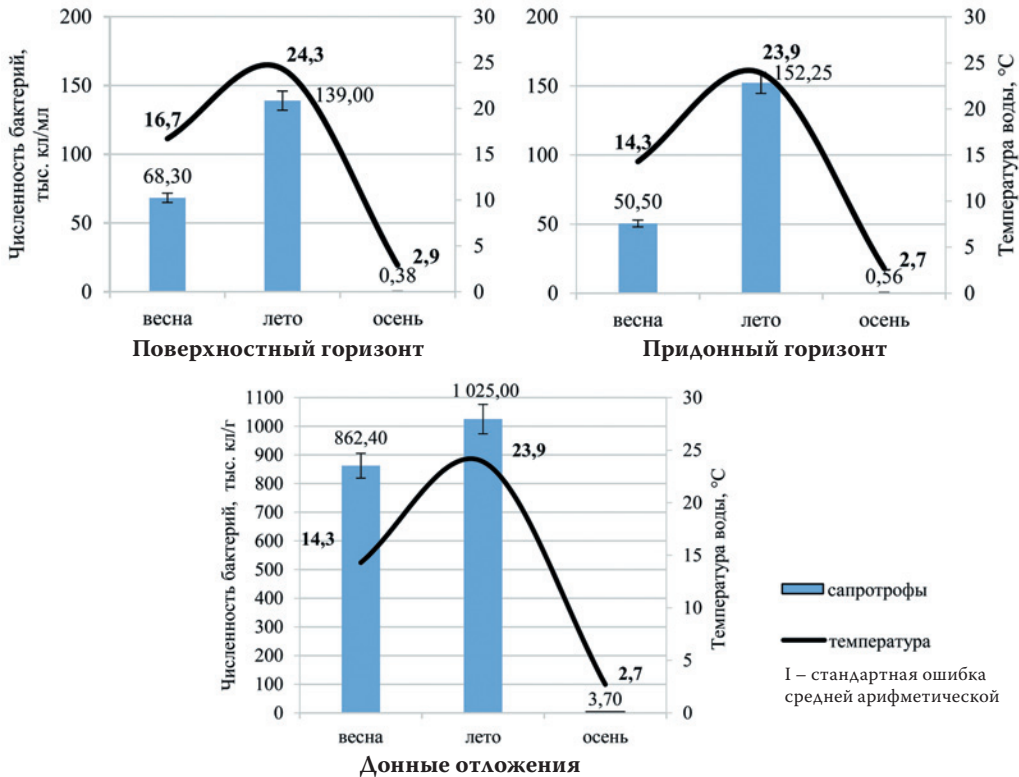
Оценка влияния абиотических факторов на изменение численности сапротрофной группы гетеротрофов показала, что весной 2020 г. складывалась микробиологическая ситуация (рис. 1), характерная для сапротрофного бактериоценоза Северного Каспия в исследуемый период, которая носила временный сезонный характер и определялась поступлением большого количества аллохтонных микроорганизмов и органического вещества в морскую экосистему с паводковыми водами (38,5 км<sup>3</sup>), а также температурным водным режимом (14,3–16,7 °С). Летом отмечено повышение численности сапротрофной группы бактериопланктона и бактериобентоса за счет прогрева толщи морской воды (23,9–24,3 °С). Также необходимо отметить, что паводок в 2020 г. был длительным с дополнительными попусками воды в середине лета (133,5 км<sup>3</sup>), что обеспечивало продолжающееся привнесение аллохтонных бактерий и органики. В осенний период исследований численность сапротрофных бактерий в морской воде и донных отложениях значительно снизилась, что закономерно и связано с существенным снижением температуры воды (до 2,7–2,9 °С) и небольшими попусками (15,08 км<sup>3</sup>).

В ходе проведенного анализа корреляционной зависимости численности сапротрофов в поверхностном ( $R=0,98$ ), придонном горизонтах ( $R=0,97$ ) и грунте ( $R=0,95$ ) от температуры морской воды обнаружена прямая корреляция численности исследуемой группы гетеротрофов от температурного фактора

<sup>5</sup> МУК 4.2.1884–04. Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных водных объектов. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2005. 108 с.

<sup>6</sup> МУК 4.2.3695–21. Методы контроля. Биологические и микробиологические факторы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2021. 16 с

( $p \leq 0,05$ ). С повышением температуры численность сапротрофной группы бактерий увеличивалась, при этом снижение прогрева водной толщи, наоборот, приводило к уменьшению количества сапротрофов в исследуемых горизонтах. Анализ влияния гидрологического фактора на рассматриваемый микробиологический показатель также показал наличие прямой корреляции численности сапротрофов от стока: для поверхностного горизонта –  $R=0,95$ ; придонного –  $R=0,99$ ; грунта –  $R=0,76$  ( $p \leq 0,05$ ). Увеличение попусков воды приводило к повышению количественных величин сапротрофной группы гетеротрофов, снижение – к уменьшению численности сапротрофов в горизонтах.



**Рис. 1.** Средняя численность сапротрофных бактерий и средняя температура воды по сезонам в 2020 г. (различия достоверны при  $p \leq 0,05$ ).

Fig. 1. The average number of saprotrophic bacteria and the average water temperature by season in 2020 (differences are significant at  $p \leq 0,05$ ).

На акватории северной части Каспийского моря в поверхностном горизонте морской воды отмечено снижение концентрации нефтеокисляющих бактерий от весны к осени (рис. 2). В воде у дна и грунте их численность незначительно возрастала летом и снижалась в осенний период. Известно, что одним из факторов, влияющих на развитие данной группы гетеротрофов, является наличие нефти и ее производных в морской воде. Нефтеокисляющие бактерии, как часть гетеротрофного микробного сообщества, способны утилизировать нефть в качестве дополнительного источника питания. При поступлении

в морскую экосистему нефти и ее производных образуется дополнительный источник углерода, что стимулирует развитие нефтедеструкторов [15, 24, 25]. Низкая их концентрация на исследованной акватории косвенно свидетельствует о незначительном содержании нефти в морской воде и о смещении численного преобладания гетеротрофных бактерий в сторону сапротрофов.

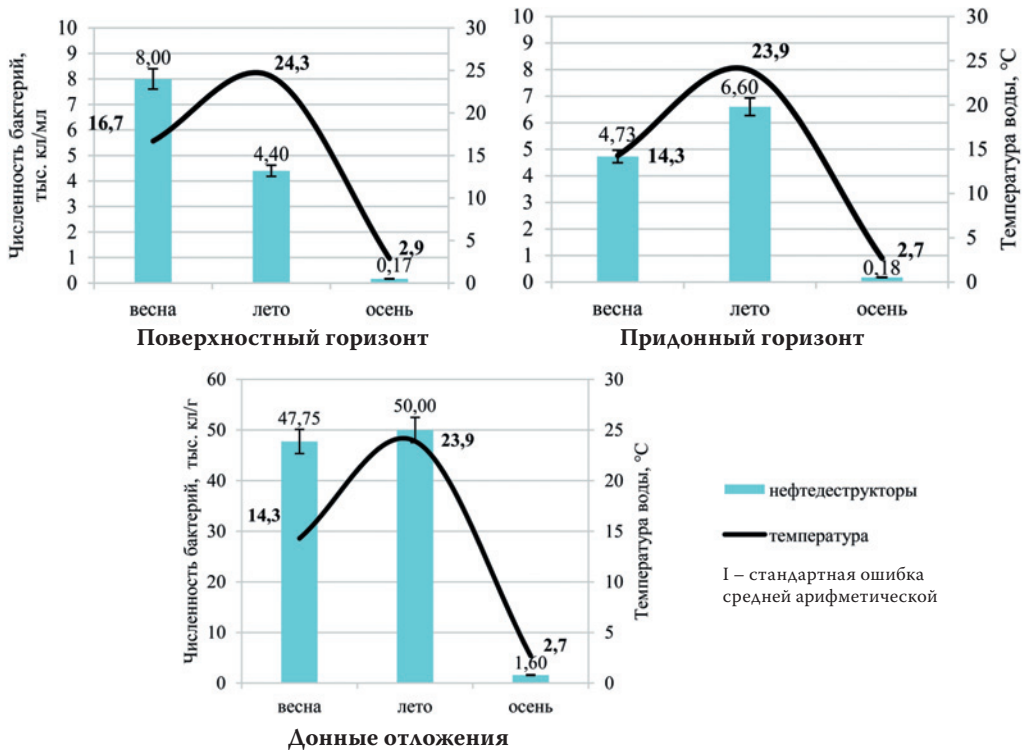
На основе оценки влияния абиотических факторов на изменение численности нефтеокисляющей группы бактерий регистрировали прямую корреляцию количественных показателей нефтедеструкторов от температуры и стока. Как и в случае сапротрофов, увеличение количественных показателей абиотических факторов приводило к повышению численности изучаемой группы гетеротрофов, уменьшение величин рассматриваемых факторов сопровождалось снижением концентрации нефтедеструкторов. Для поверхностного горизонта морской воды корреляция составляла  $R=0,67$ ; для придонного –  $R=0,98$ ; для донных отложений –  $R=0,91$  в отношении температурного фактора ( $p \leq 0,05$ ). Гидрологический фактор также оказывал влияние на развитие исследуемой группы гетеротрофов в воде у дна ( $R=0,84$ ) и грунте ( $R=0,68$ ), ( $p \leq 0,05$ ). Лишь в воде у поверхности корреляционная зависимость не обнаружена ( $R=0,23$ ), что может объясняться влиянием других факторов, в частности, метаболическими особенностями нефтеокисляющих бактерий.

В результате проведенных исследований весной 2020 г. численность сапротрофного и нефтеокисляющего бактериопланктона доминировала в поверхностном слое морской воды Северного Каспия (рис. 1, рис. 2), что вполне закономерно [26–30]. При этом на всех этапах исследований концентрация сапротрофов преобладала над нефтедеструкторами. В целом, весной высокие показатели численности изучаемой сапротрофной группы гетеротрофов были обусловлены воздействием абиотических факторов, таких как сток Волги, температурный режим, доступное органическое вещество. Летом, наряду с абиотическими факторами (продолжительный сезон вегетации, высокий теплоспас), на концентрацию сапротрофных микроорганизмов дополнительно оказывали влияние ветра (до 10 м/с) за счет увеличения количества взвешенного вещества в морской воде. На осеннем этапе исследований лимитирующим развитие сапротрофного бактериоценоза фактором являлась низкая температура морской воды.

Учитывая гидрологический и температурный режимы, продолжительность и объем половодья 2020 г. можно сделать вывод о влиянии природных факторов на численность сапротрофов в северной части Каспийского моря, что подтверждается корреляционной зависимостью. В случае влияния температурного и гидрохимического режимов на концентрацию нефтеокисляющих бактерий в исследуемые периоды также обнаружена менее выраженная корреляционная зависимость, что, возможно, в большей степени связано с особенностями метаболизма нефтедеструкторов.

Анализ вклада абиотических факторов в изменение численности сапротрофных бактерий показал, что весной 2021 г. наблюдались низкие микробиологические показатели (рис. 3). В этот период осуществлялись небольшие





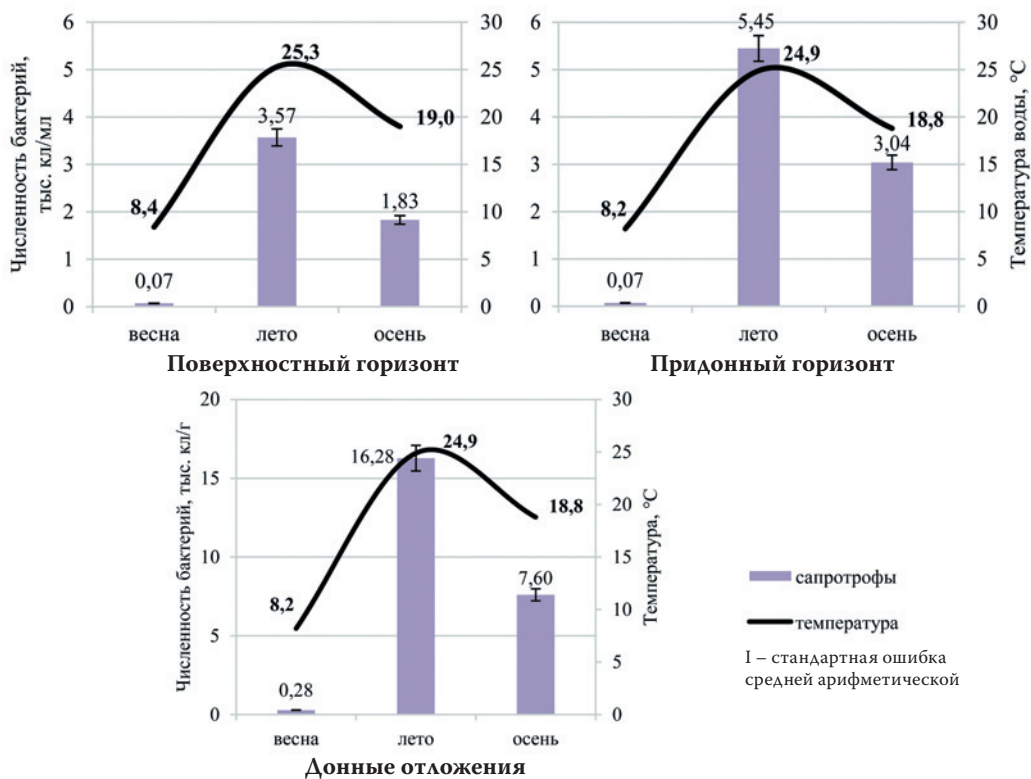
**Рис. 2.** Средняя численность нефтеокисляющих бактерий и средняя температура воды по сезонам в 2020 г. (различия достоверны при  $p \leq 0,05$ ).  
 Fig. 2. The average number of oil-oxidizing bacteria and the average water temperature by season in 2020 (differences are significant at  $p \leq 0.05$ ).

попуски воды ( $24,3 \text{ км}^3$ ), при этом половодье началось значительно позже начала проведения исследований, что привело к незначительному поступлению аллохтонных микроорганизмов и органических веществ на исследуемую акваторию. Отмечены также низкие температуры воды в дельте Волги ( $8,0\text{--}8,2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и непосредственно на акватории ( $8,2\text{--}8,4 \text{ }^\circ\text{C}$ ), что указывает на недостаточный для роста бактерий прогрев водных масс. В целом весной абиотические факторы повлияли на незначительное количественное развитие микроорганизмов и дальнейшее поступление их на акваторию северной части Каспийского моря.

Летом отмечено повышение изучаемых микробиологических показателей, однако общее количество рассматриваемых параметров продолжало оставаться на низком уровне. Исследуемый период характеризовался высокими температурами морских вод ( $24,9\text{--}25,3 \text{ }^\circ\text{C}$ ), лимитирующими развитие бактерий. При этом небольшое поступление микроорганизмов в весенний период на акваторию определило низкий уровень их дальнейшего количественного развития летом. Раннее окончание половодья и невысокий сток за второй квартал ( $97 \text{ км}^3$ ) привели к меньшему поступлению воды на акваторию северной части Каспия и, соответственно, аллохтонных бактерий и органики. В целом микробиологические показатели, хотя и увеличились по сравнению с

данными весенних исследований, но продолжали оставаться на низком уровне, существенно определяясь влиянием природных факторов.

Осенью рассматриваемые микробиологические показатели незначительно снизились. Температурный режим морской воды (18,8–19,0 °С) при небольших попусках (14,57 км<sup>3</sup>) благоприятно воздействовал на развитие микроорганизмов, что отразилось на уровне микробиологических показателей.



**Рис. 3.** Средняя численность сапротрофных бактерий и средняя температура воды по сезонам в 2021 г. (различия достоверны при  $p \leq 0,05$ ).  
 Fig. 3. The average number of saprotrophic bacteria and the average water temperature by season in 2021 (differences are significant at  $p \leq 0,05$ ).

В результате определения корреляционной зависимости численности сапротрофной группы гетеротрофов в исследуемых горизонтах от температуры морской воды зарегистрирована прямая корреляция численности сапротрофов от температурного фактора: для поверхностного горизонта –  $R=0,99$ ; придонного – 1,00; грунта – 0,98 ( $p \leq 0,05$ ). Снижение температуры воды приводило к уменьшению количества сапротрофных бактерий в исследуемых горизонтах. С повышением прогрева водной толщи численность сапротрофов увеличивалась. При оценке влияния гидрологического фактора на количественные показатели обнаружена прямая корреляция численности сапротрофов от стока как в воде у поверхности ( $R=0,92$ ), так и в воде у дна ( $R=0,98$ ) и в донных отложениях ( $R=0,70$ ) ( $p \leq 0,05$ ). Снижение стока приводило к уменьшению численности сапротрофов.

ности сапротрофов в исследуемых горизонтах, а увеличение – к повышению концентрации сапротрофной группы бактерий.

Численность нефтеокисляющего бактериопланктона и бактериобентоса от весны к осени незначительно повышалась (рис. 4). В весенний период концентрация нефтеокисляющих бактерий была на низком уровне, летом несущественно увеличилась, осенью регистрировали незначительное повышение численности нефтедеструкторов на исследуемой акватории. Анализ влияния абиотических факторов на изменение численности нефтеокисляющих бактерий показал наличие прямой корреляционной зависимости численности изучаемой группы гетеротрофов от температурного и гидрологического факторов: уменьшение количественных показателей абиотических факторов приводило к снижению концентрации нефтедеструкторов, а увеличение сопровождалось повышением численности нефтеокисляющей группы гетеротрофов. Влияние температуры морской воды на концентрацию нефтедеструкторов показало корреляцию для поверхностного горизонта равную  $R=1,00$ ; для грунта –  $R=0,88$  ( $p \leq 0,05$ ). Для придонного горизонта корреляционная зависимость не обнаружена ( $R=0,24$ ), что, вероятно, связано с метаболизмом изучаемых бактерий или воздействием других факторов.



**Рис. 4.** Средняя численность нефтеокисляющих бактерий и средняя температура воды по сезонам в 2021 г. (различия достоверны при  $p \leq 0,05$ ).  
 Fig. 4. The average number of oil-oxidizing bacteria and the average water temperature by season in 2021 (differences are significant at  $p \leq 0.05$ ).

Гидрологический фактор демонстрировал меньшую корреляционную зависимость от количественного развития исследуемой группы гетеротрофов в воде у дна  $R=0,79$ , донных отложений –  $R=0,62$  ( $p \leq 0,05$ ). В поверхностном горизонте морской воды значение корреляции было  $R=0,15$ , что указывает на отсутствие зависимости рассматриваемых показателей.

В результате анализа полученных данных в 2021 г. установлено, что численность сапрофитного и нефтеокисляющего бактериопланктона весной в поверхностном и придонном слоях морской воды была низкой и находилась на одном уровне, что обусловлено гидрологическими и температурными особенностями периода исследований (рис. 3, рис. 4). Концентрация сапротрофной группы бактерий по отношению к нефтеокисляющей была выше на всех этапах проведенных исследований, как и в 2020 г. Небольшая численность сапротрофов обусловлена поздним началом и ранним окончанием половодья, непродолжительным паводком и небольшим объемом стока в 2021 г. При этом температурный режим воды как в русле Волги, так и непосредственно на исследуемой акватории существенно лимитировал развитие микроорганизмов: весной за счет низких температур и летом за счет высоких величин абиотического фактора. Низкая концентрация нефтедеструкторов косвенно указывает на несущественное привнесение нефти и углеводородов на акваторию Северного Каспия. Обнаруженная корреляционная зависимость подтверждает влияние изучаемых природных факторов на количественное распределение сапротрофов в северной части Каспийского моря. В отношении численности нефтеокисляющих бактерий отмечено менее выраженное наличие корреляционной зависимости от температурного и гидрохимического режимов, что, возможно, объясняется метаболическими особенностями нефтедеструкторов.

Проведенная оценка внутригодовой динамики количественного распределения гетеротрофных бактерий в 2020–2021 гг. показала, что на всех этапах исследований микробиологические показатели зависели от воздействия абиотических факторов – половодья, стока Волги, температуры морской воды. На основе данных гидрологического и температурного режимов, продолжительности и объема половодья можно сделать вывод о воздействии изучаемых природных факторов на количественное распределение сапротрофов и нефтедеструкторов в Северном Каспии, что подтверждается установленной корреляционной зависимостью.

### ВЫВОДЫ

В ходе проведенного анализа влияния исследуемых абиотических факторов на изменение численности сапротрофных и нефтеокисляющих бактерий в северной части Каспийского моря в 2020–2021 гг. обнаружено, что наблюдаемые изменения микробиологических параметров, заключающиеся в снижении или повышении рассматриваемых количественных показателей изучаемых групп гетеротрофов, связаны с сезонными условиями. Комплекс изучаемых природных факторов в большей степени влияет на развитие сапротрофных бактерий в морской воде и донных отложениях за счет изменения температуры морской воды, стока и половодья.

В совокупности определяющим критерием, влияющим на сапротрофный микробиоценоз Северного Каспия, являются абиотические факторы. В случае распространения и развития нефтеокисляющей группы изучаемых гетеротрофов обнаружено менее выраженное воздействие температурного и гидрологического режимов, что может объясняться особенностями метаболизма нефтедеструкторов. При этом их низкая численность на исследованной акватории Каспийского моря косвенно свидетельствует о небольшом содержании нефти и ее производных в морской воде и о смещении в сторону преобладания сапротрофной группы гетеротрофов. Таким образом, несмотря на продолжающееся антропогенное воздействие на исследуемую акваторию северной части Каспийского моря, наблюдаемые изменения микробиологических параметров как в 2020 г., так и в 2021 г., связаны в большей степени с сезонными условиями и абиотическими факторами – температурным режимом воды, половодьем и стоком Волги.

### Благодарность

*Авторы выражают искреннюю признательность и благодарность старшему специалисту лаборатории водных проблем и токсикологии Волжско-Каспийского филиала ФГБНУ «Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии» Елене Глебовне Лардыгиной за предоставление гидрохимических данных, используемых в статье для анализа полученных результатов.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байдин С.С., Косарев А.Н. Каспийское море: гидрология и гидрохимия. М.: Наука, 1986. 261 с.
2. Косарев А.Н. Каспийское море: структура и динамика вод. М.: Наука, 1990. 164 с.
3. Гаврилов В.П. Экологические проблемы Каспийского моря // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина. 2011. № 4 (265). С. 37–45.
4. Иванов В.П. Биологические ресурсы Каспийского моря. Астрахань: КаспНИРХ, 2000. 100 с.
5. Zonn I.S., Kostianoy A.G., Kosarev A.N., Glantz M. The Caspian Sea Encyclopedia. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 2010. 527 p.
6. Kostianoy A.G., Kosarev A.N. The Caspian Sea Environment. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. New York, 2005. 271 p.
7. Катунин Д.Н. Гидроэкологические основы формирования экосистемных процессов в Каспийском море и дельте р. Волги. Астрахань: Изд-во КаспНИРХ, 2014. 478 с.
8. Костяной А.Г. О необходимости организации комплексного мониторинга Каспийского моря // Проблемы постсоветского пространства. 2014. № 2. С. 110–140.
9. Габбасова С.М., Аблеева И.Ю. Экологические проблемы Каспийского моря // Мат-лы между. научно-практ. конф. молодых исследователей им. Д.И. Менделеева, посвященной 10-летию Института промышленных технологий и инжиниринга. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2019. С. 162–164.
10. Кураков А.В. Биоиндикация и реабилитация экосистем при нефтяных загрязнениях. М.: Графикон, 2006. 408 с.
11. Wackett L.P. Biodegradation of fuel components // Environmental Microbiology. 2008. Vol. 10. № 5. P. 1380–1381.
12. Odd B., Ingunn N., Liv-Guri F., Per B. Responses of Microbial Communities in Arctic Sea Ice After Contamination by Crude Petroleum Oil // Microbial Ecology. 2013. Vol. 55. № 3. P. 540–552.
13. Барышникова Л.М., Черемис Н.А., Головлев Е.Л. Глюкозный эффект в регуляции транспорта глюкозы клетками *Rhodococcus minimus* // Микробиология. 1994. Т. 3. С. 405–410.



14. Зайцева Т.А., Рудакова Л.В., Комбарова М.М. Микроорганизмы – деструкторы нефти // Научные исследования и инновации. 2010. № 4. С. 59–63.
15. Рубцова С.И. Гетеротрофные бактерии – показатели загрязнения и самоочищения морской среды // Экология моря. 2002. № 62. С. 81–85.
16. Шамраев А.В. Влияние нефти и нефтепродуктов на различные компоненты окружающей среды // Вестник Оренбургского государственного университета. 2009. №. 6. С. 642–645.
17. Менькова А.В., Баубекова Д.Г., Дьякова С.А., Галяутдинова Е.Р. Мониторинг углеводородокисляющих бактерий воды и донных отложений на лицензированном участке «Северный» // Проблемы сохранения экосистемы Каспия в условиях освоения нефтегазовых месторождений. Астрахань: Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ ВНИРО (КаспНИРХ). 2019. С. 100–104.
18. Карыгина Н.В. Проскурина В.В., Лардыгина Е.Г., Дегтярева Л.В., Кравченко Е.А., Головатых Н.Н., Галлей Е.В., Дьякова С.А., Шокашева Д.И. Абиотические и биотические факторы, формирующие условия обитания биоресурсов Каспийского моря // Сохранение биологических ресурсов Каспия. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2014. С. 210–214.
19. Баубекова Д.Г., Проскурина В.В., Воронина Е.А. Влияние природных факторов на численность сапротрофных и нефтеокисляющих бактерий в северной части Каспийского моря // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса. М.: Изд-во ВНИРО, 2022. С. 260–263.
20. Теппер Е.З., Шильникова В.К., Переверзева Г.И. Практикум по микробиологии. М.: Дрофа, 2004. 256 с.
21. Практикум по микробиологии / под ред. А.И. Нетрусова. М.: Академия, 2005. 608 с.
22. Лялин В.С., Зверева И.Г., Никифорова Н.Г. Статистика: теория и практика в Excel: учеб. пос. для вузов. М.: Финансы и статистика: Инфра-М, 2010. 448 с.
23. Новиков Д.А., Новочадов В.В. Статистические методы в медико-биологическом эксперименте (типовые случаи). Волгоград: Изд-во ВолГМУ, 2005. 84 с.
24. Израэль Ю.А., Цыбань А.В. Антропогенная экология океана. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 527 с.
25. Менькова А.В., Баубекова Д.Г., Дьякова С.А., Галяутдинова Е.Р. Характеристика отдельных групп гетеротрофных бактериоценозов воды и донных отложений на лицензионном участке «Северный» в 2020 г. // Проблемы сохранения экосистемы Каспия в условиях освоения нефтегазовых месторождений. Астрахань: Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ ВНИРО (КаспНИРХ), 2021. С. 224–228.
26. Мишустина И.Е., Щеглова И.К., Мицкевич И.Н. Морская микробиология. Владивосток: Изд-во Дальневосточного университета, 1985. 181 с.
27. Нетрусов А.И., Бонч-Осмоловская Е.А., Горленко В.М. Экология микроорганизмов. М.: Изд. центр «Академия», 2004. 272 с.
28. Cole J.J., Findlay S., Pace M.L. Bacterial production in fresh and saltwater ecosystems: A cross-system overview // Marine Ecology Progress Series, 1988. Vol. 43. P. 1–10.
29. Милько Е.С., Егоров Н.С. Гетерогенность популяций бактерий и процесс диссоциации (корине- и нокардиоподобные бактерии). М.: Изд-во МГУ, 1991. 120 с.
30. Atlas R.M., Bartha R. Biodegradation of petroleum in seawater at low temperatures // Canadian Journal of Microbiology. 1972. Vol. 18. T. 12. P.1851–1855.

## REFERENCES

1. Baidin S.S., Kosarev A.N. Caspian Sea: Hydrology and Hydrochemistry. М.: Nauka, 1986. 261 p. (In Russ.).
2. Kosarev A.N. Caspian Sea: Structure and dynamics of waters. М.: Nauka, 1990. 164 p. (In Russ.).
3. Gavrilov V.P. Environmental problems of the Caspian Sea. *Trudy Rossiyskogo Gosudarstvennogo universiteta im. I.M. Gubkina [Proceedings of I.M. Gubkin Russian State Oil and Gas University]*. 2011. No. 4 (265). pp. 37–45 (In Russ.).
4. Ivanov V.P. Biological resources of the Caspian Sea. Astrakhan: CaspNIRKH, 2000. 100 p. (In Russ.).
5. Zonn I.S., Kostianoy A.G., Kosarev A.N., Glantz M. The Caspian Sea Encyclopedia. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 2010. 527 p.

6. Kostianoy A.G., Kosarev A.N. The Caspian Sea Environment. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2005. 271 p.
7. Katunin D.N. Hydro/ecological foundations of the ecosystem processes formation in the Caspian Sea and the Volga River delta. Astrakhan: Isd-vo FGUP "KaspNIRKh, 204. 478 p. (In Russ.)
8. Kostyanoy A.G. About the necessity of organization of the Caspian Sea overwhelming monitoring. *Problemy postsovetskogo postranstva [Problems of the post-Soviet area]* 2014. No. 2. P. 110–140 (In Russ.)
9. Gabbasova S.M., Ableyeva I.Y. Ecological problems of the Caspian Sea. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prokticheskoy konferentsiyi molodykh issledovateley im. D. I. Mendeleyeva, psyyashchennoy 10-letiyu Instituta promyshlennykh tekhnologiy i inzhiniringa. [Proceedings of D.I. Mendeleev International scientific/practical conference of young researchers, devoted to the 10<sup>th</sup> anniversary of the Institute of industrial technologies and engineering.* Tyumen: Tyumen Industrial University] P. 162–164 (In Russ.)
10. Kurakov A.V. Bioindication and rehabilitation of ecosystems in case of petroleum contaminations. M.: Grafikon, 2006. 408 p. (In Russ.)
11. Wackett L.P. Biodegradation of fuel components. *Environmental Microbiology*. 2008. Vol. 10. No. 5. P. 1380–1381.
12. Odd B., Ingunn N., Liv-Guri F., Per B. Resposces of Microbial Communities in Arctic Sea Ice After Contamination by Crude Petroleum Oil. *Microbial Ecology*. 2013. Vol. 55. No. 3. P. 540–552.
13. Baryshnikova L.M., Cheremic N.A., Golovly E.L. Glucose effect in regulation of the glucose transport by *Rhodococcus minimus* cells. *Microbiology*. 1994. V. 3. P. 405–410 Shamraev, A.V. Influence of oil and oil products on various components of the environment. *Bulletin of the Orenburg State University*. 2009. № 6. P. 642–645 (In Russ.)
14. Zaitseva T.A., Rudakova L.V., Kombarova M.M. Microorganisms as oil destructors. *Nauchniye issledovaniya i innovatsiyi [Scientific research and innovation]*. 2010. № 4. P. 59–63 (In Russ.)
15. Rubtsova S.I. Heterotrophic bacteria as indicators of pollution and self-purification of the marine environment. *Ekologiya morya [Marine ecology]*. 2002. No. 62. P. 81–85 (In Russ.)
16. Shamrayev A.V. Petroleum oil and petroleum oil products effect on various components of environment. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Orenburg State University]*. 2009. No. 6. P. 642–645 (In Russ.)
17. Men'kova A.V., Baubekova D.G., Dyakova S.A., Galyautdinova E.R. Monitoring of hydrocarbon-oxidizing bacteria in water and bottom sediments at «Severny» licensed site. *Problemy sokhraneniya ekosistemy Kaspiya v usloviyakh osvoeniya neftegazovykh mestorozhdeniy [Problems of conservation of the Caspian ecosystem in the conditions of development of oil and gas fields]*. Astrakhan: «VNIRO» Volga-Caspian branch («CaspNIRKH»). 2019. P. 100–104 (In Russ.)
18. Karygina N.V., Proskurina V.V., Lardygina E.G., Degtyareva L.V., Kravchenko E.A., Golovytkh N.N., Galley E.V., Dyakova S.A., Shokasheva D.I. Abiotic and biotic factors that form the living conditions of the Caspian Sea bioresources. *Sokhraneniye biologicheskikh resursov Kaspiya [Preservation of biological resources of the Caspian Sea.]* Astrakhan: Publishing House of ASTU, 2014. P. 210–214 (In Russ.)
19. Baubekova D.G., Proskurina V.V., Voronina E.A. Influence of natural factors on the number of saprotrophic and oil-oxidizing bacteria in the northern part of the Caspian Sea. *Sovremenniye problemy i perspektivy razvitiya rybokhozaystvennogo kompleksa [Current problems and prospects of the fishery complex development]*. M.: VNIRO Publishing House, 2022. P. 260–263 (In Russ.)
20. Tepper E.Z., Shilnikova V.K., Pereverzeva G.I. Workshop on microbiology. M.: Bustard, 2004. 256 p. (In Russ.)
21. Workshop on microbiology / A.I. Netrusov. M.: Academy, 2005. 608 p. (In Russ.)
22. Lyalin V.S., Zvereva I.G., Nikiforova N.G. Statistics: theory and practice in Excell: manual for universities. M.: Finance and statistics, Infra-M, 2010. 448 p. (In Russ.)
23. Novikov D.A., Novochadov V.V. Statistical methods in biomedical experiment (typical cases). Volgograd: Publishing House of VolGMU, 2005. 84 p. (In Russ.)
24. Israel Y.A., Tsyban A.V. Anthropogenic ecology of the ocean. L.: Gidrometeoizdat, 1989. 527 p. (In Russ.)
25. Men'kova A.V., Baubekova D.G., Dyakova S.A., Galyautdinova E.R. Characteristics of individual groups of heterotrophic bacteriocenoses of water and bottom sediments in the license area

- «Severny» in 2020. *Problemy sokhraneniya ekosistemy Kaspia vusloviyakh osvoyeniya gazovykh mestorozhdeniy* [Problems of preserving the Caspian ecosystem in the conditions of development of oil and gas fields]. Astrakhan: Volga-Caspian branch of FGBNU «VNIRO» («CaspNIRKh»). 2021. P. 224–228 (In Russ.).
26. Mishustina I.E., Shcheglova I.K., Mitskevich I.N. Marine microbiology. Vladivostok: Publishing House of the Far Eastern University, 1985. 181 p. (In Russ.).
  27. Netrusov A.I., Bonch-Osmolovskaya E.A., Gorlenko V.M. Ecology of microorganisms. M.: Publishing Center «Academy», 2004. 272 p. (In Russ.).
  28. Cole J.J., Findlay S., Pace M.L. Bacterial production in fresh and saltwater ecosystems: A cross-system overview. *Marine Ecology Progress Series*, 1988. Vol. 43. P. 1–10.
  29. Milko E.S., Egorov N.S. Heterogeneity of bacterial populations and the process of dissociation (coryne- and nocardio-like bacteria). M.: Publishing House of Moscow State University, 1991. 120 p. (In Russ.).
  30. Atlas R.M., Bartha R. Biodegradation of petroleum in seawater at low temperatures. *Canadian Journal of Microbiology*. 1972. Vol. 18. V. 12. P.1851–1855.

**Сведения об авторах:**

**Баубекова Динара Гайдаровна**, старший специалист, лаборатория ихтиопатологии, Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Россия, 414040, г. Астрахань, ул. Савушкина, д. 1; ORCID: 0000-0002-3288-9487; e-mail: suslig.zenia@mail.ru

**Проскурина Виктория Владимировна**, ведущий специалист, лаборатория ихтиопатологии, Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Россия, 414040, г. Астрахань, ул. Савушкина, д. 1; ORCID: 0000-0003-0138-4774; e-mail: vita-vp@yandex.ru

**About the authors:**

**Dinara G. Baubekova**, Senior Expert, Laboratory of ichthyopathology, All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography Volga-Caspian Branch (Caspian Fisheries Research Institute). ul. Savushkuna, 1, Astrakhan, 414040, Russia; ORCID: 0000-0002-3288-9487; e-mail: suslig.zenia@mail.ru

**Victoria V. Proskurina**, Leading Expert, Laboratory of ichthyopathology, All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography Volga-Caspian Branch, ul. Savushkuna, 1, Astrakhan, 414040, Russia; ORCID: 0000-0003-0138-4774; e-mail: vita-vp@yandex.ru

## Гидрологические условия функционирования Усть-Манычских рыбоходных каналов

В. Н. Шкура  , А. В. Шевченко 

 VNShkura@yandex.ru

ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации», Новочеркасск, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** Усть-Манычские рыбоходные каналы характеризуются низкой эффективностью работы, что наносит ущерб рыбному хозяйству региона. Анализ проекта каналов позволил установить ряд ошибок и недостатков компоновочно-конструктивных решений, снижающих результативность функционирования каналов. Следует отметить, что в нормативной документации рекомендации по учету гидрологических условий их работы не рассматриваются, что подтверждает актуальность исследования оценки гидрологических условий использования Усть-Манычских рыбоходных каналов в период до и после ввода в эксплуатацию Багаевского гидроузла на р. Дон. **Методы.** Основу публикации составили данные измерений гидрологических параметров на устьевом участке р. Западный Маныч. При проведении исследований, сборе данных и их обработке использованы методы речной гидрологии. **Результаты.** Установлено, что гидрологические условия р. Западный Маныч являются одним из основных факторов, определяющих эффективность функционирования Усть-Манычских рыбоходных каналов. Собранные данные многолетних наблюдений и проведены гидрологические изыскания в расчетных створах устьевого участка реки, на основании которых установлена геометрия русла, определены расходы и уровни воды для различных уровней обеспеченности, что позволило оценить качество условий работы Усть-Манычских рыбоходных каналов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** р. Западный Маныч, Усть-Манычский гидроузел, миграция рыб, рыбоходный канал, р. Дон, Багаевский гидроузел, гидрологические расчеты.

**Для цитирования:** Шкура В.Н., Шевченко А.В. Гидрологические условия функционирования Усть-Манычских рыбоходных каналов // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2023. № 5. С. 85-95. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_5\_7.

Дата поступления 14.11.2022.

### HYDROLOGICAL CONDITIONS OF FUNCTIONING OF UST-MANYCH FISH CHANNELS

Viktor N. Shkura  , Aleksey V. Shevchenko 

 VNShkura@yandex.ru

Russian Research Institute of Land Reclamation Problems, Novocherkassk, Russia

### ABSTRACT

**Relevance.** Ust-Manych fishing channels are characterized by low efficiency of their work, which inflicts damage on the regional fishery. The analysis of the channel design enabled to establish a number of errors and shortcomings of their layout and design solutions that reduce the quality of their functioning conditions. It should be noted that in the regulatory documentation, recommendations on accounting for the hydrological conditions of their

© Шкура В.Н., Шевченко А.В., 2023

operation are not considered, which confirms the relevance of the study on the assessment of the hydrological conditions for the use of Ust-Manych fishing channels in the period before and after the commissioning of the Bagaevsky hydroelectric complex on the Don River. **Methods.** The basis of the publication was the data of measurements of hydrological parameters at the mouth of the Western Manych. In conducting research, collecting data and processing them we used methods of river hydrology. **Results.** It has been established that the hydrological conditions of the Western Manych River are one of the main factors determining the efficiency of the Ust-Manych fish channels. Data of the long-term observations were collected and hydrological surveys were carried out in the design sections of the estuary section of the Western Manych River. Based on these data we have determined the geometry of the channel, as well as the flow and water levels for various levels of probability, that made it possible to assess the quality of the working conditions of the Ust-Manych fish channels.

**Keywords:** the Zapadny Manych River, Ust-Manych waterworks facility, fish migration, fish passage channel, the Don River, Bagaevsky waterworks facility, hydrological calculations.

**For citation:** Shkura V.N., Shevchenko A.V. Hydrological conditions of functioning of Ust-Manych fish channels. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2023. No. 5. P. 85-95. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_5\_7.

Received 14.11.2022.

## ВВЕДЕНИЕ

Объектом исследований являлся устьевой участок р. Западный Маныч от створа расположения Усть-Манычского гидроузла до створа ее впадения в р. Дон. Необходимость проведения работ продиктована потребностью установления гидрометрических параметров функционирования рыбоходных каналов для определения качества условий пропуска рыб из нижнего бьефа гидроузла в верхний. План-схема реки и комплекса сооружений представлена на рис. 1.

При разработке проекта<sup>1</sup> рыбоходных каналов Усть-Манычского гидроузла в должной мере не были оценены гидрологические условия его создания [1], что привело к низкой эффективности функционирования рыбоходных каналов по привлечению и пропуску рыб [2, 3]. В определенной мере недостаточность гидрологического обоснования проекта объясняется отсутствием рекомендаций в Своде правил<sup>2</sup> при наличии их острой востребованности в современной практике проектирования [4–14].

Следует отметить, что проектирование Усть-Манычских рыбоходных каналов осуществлялось без учета влияния на их работу строящегося на р. Дон Багаевского гидроузла [15, 16], ввод в эксплуатацию которого приведет к подъему уровней воды на устьевом участке р. Западный Маныч и окажет влияние на эффективность функционирования каналов по привлечению, заходу и пропуску рыб к нерестилищам.

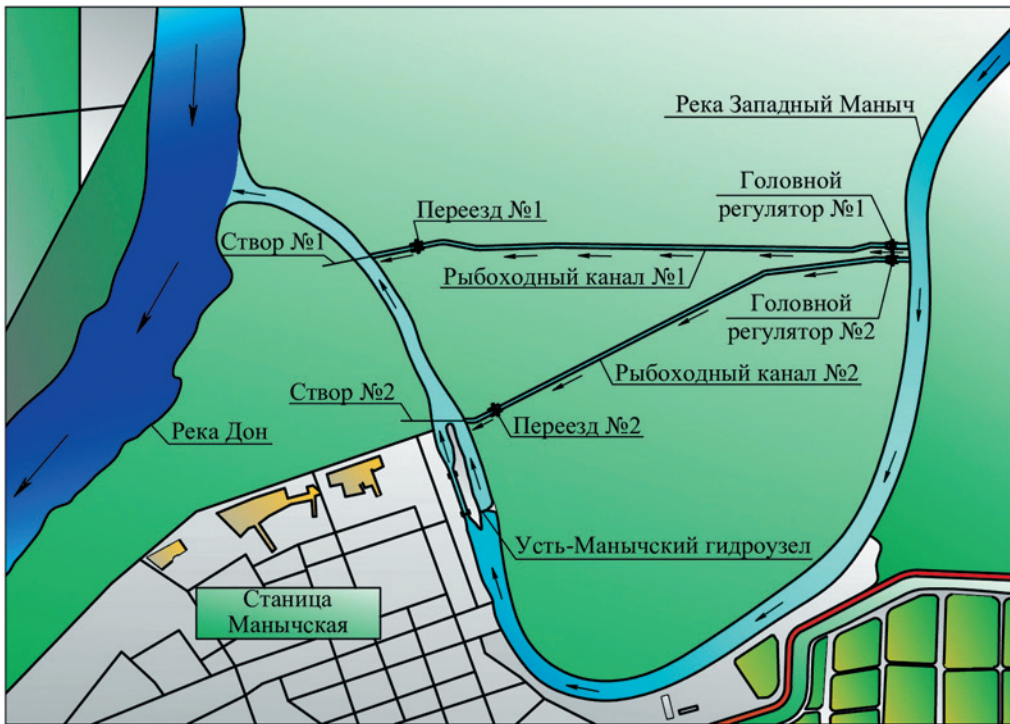
На устранение выявленного дефицита рекомендаций по определению гидрологических условий функционирования пригидроузловых рыбоходных ка-

<sup>1</sup>Проект «Мелиоративно-рыбоходный канал Усть-Манычского гидроузла в Багаевском районе Ростовской области». ООО «Производственное предприятие «Каскад».

<sup>2</sup>Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.07-87: СП 101.13330.2012: утв. Минрегионразвития России 30.06.12: введ. в действие с 01.01.13. М., 2012. 69 с.



налов и оценку их влияния на работу Усть-Маньчских каналов (с учетом и без учета влияния подпора, создаваемого Багаевским гидроузлом) и направлено настоящее исследование.



**Рис. 1.** План-схема устьевое участка р. Западный Маныч.

Fig. 1. Schematic diagram of the estuary section of the Western Manych River.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

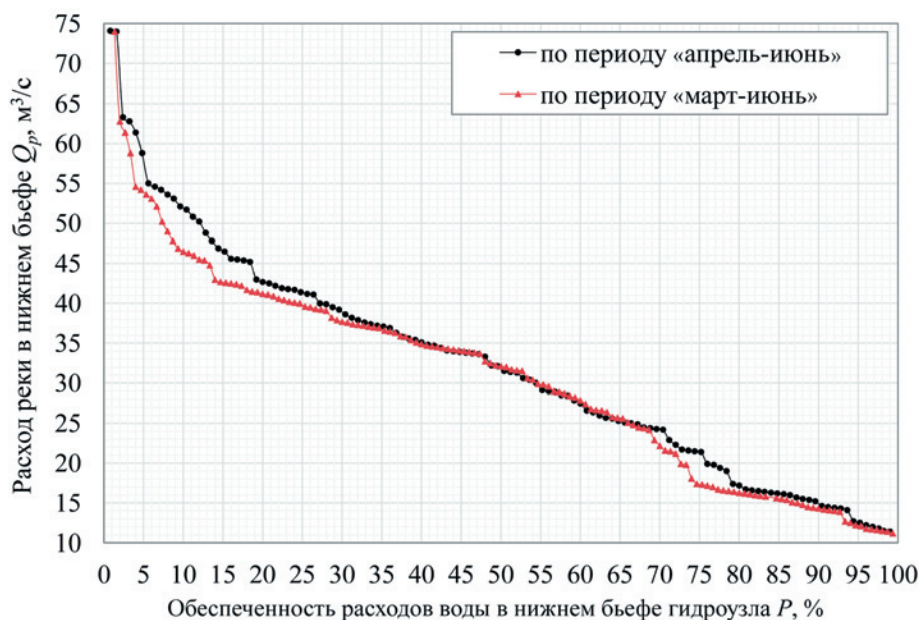
Основу работы составили собранные на объекте данные измерения расходов и уровней воды, глубин и скоростей течения в пределах приплотинного участка р. Западный Маныч, охватывающего ее приустьевую часть. Гидрологические изыскания на объекте исследования и обработка полученных в ходе измерений данных осуществлялись по методам гидрологии и гидрометрии [17].

Одной из характеристик, определяющей эффективность работы рыбоходных каналов, является соотношение расходов канала ( $Q_k$ ,  $m^3/c$ ) и реки ( $Q_p$ ,  $m^3/c$ ). В проекте рыбоходного канала гидрологическое обоснование по выбору величины соотношения  $Q_k/Q_p$ , отсутствует, а расходы каналов приняты необоснованно [2].

Собраны данные по среднемесячным расходам р. Западный Маныч за период с 1961 по 2020 гг. К обработке приняты данные по расходам реки по двум периодам – «март–июнь» (по условию установки плотины) и «апрель–июнь» (по сроку нерестового хода рыб), соответствующим периодам функционирования каналов. Результаты расчетов представлены в табл. 1 и на рис. 2.

**Таблица 1.** Данные расчетов расходов р. Западный Маныч по устьевому створу  
**Table 1.** Data of calculations of the expenses of the Western Manych River along the estuary

Период нерестового хода рыб	Уровень обеспеченности расходов реки, $P$ %				
	15	25	50	75	85
	Значение расходов реки различной обеспеченности, $Q_p$ , м <sup>3</sup> /с				
Апрель–июнь	42,65	39,80	32,1	17,35	15,55
Март–июнь	46,60	41,30	31,80	21,40	16,10
Среднее	44,62	40,55	31,95	19,38	15,82
Отклонения, %	4,40	1,80	0,50	10,50	1,70



**Рис. 2.** Графики функциональной связи  $Q_p = f(P)$ .  
**Fig. 2.** Graphs of the functional relationship  $Q_p = f(P)$ .

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По нормативам подача воды на объекты рыбохозяйственного назначения осуществляется при обеспеченности  $P = 75$  %. При этом значении расход реки составляет  $Q_p = 19,38$  м<sup>3</sup>/с. Отметим, что водный транспорт обеспечивается водой при  $P = 85$  % и расходе  $Q_p = 15,82$  м<sup>3</sup>/с. В этом случае предусматривается установка плотины гидроузла, преграждающей путь миграции рыб. Обеспечить проход рыб к нерестилищам Усть-Манычского займища позволяют рыбоходные каналы, которые должны быть введены в рабочий режим одновременно с подъемом плотины (при расходе гидроузла не 75 %, а 85 % обеспеченности), что должно быть учтено в инструкции по эксплуатации гидроузла.

Для создания и эксплуатации рыбоходных каналов необходимо установить диапазон значений уровней воды в реке, в пределах которых предусматрива-

ется их функционирование. Расчетный уровень воды в верхнем бьефе Усть-Маньчского гидроузла составляет  $Z_{в/б} = 2,80$  мБС. Уровень воды на устьевом участке р. Западный Маньч устанавливается под влиянием уровней в р. Дон. Значения уровней воды в пределах устьевом участка р. Западный Маньч ( $Z_{н/б}$ , мБС) различной степени обеспеченности ( $P$ , %) приведены на рис. 3.

Учитывая неопределенность в сроках установки плотины и времени работы гидроузла, за расчетные значения уровней воды в его нижнем бьефе могут приниматься средние значения, определенные для двух вариантов (табл. 2).

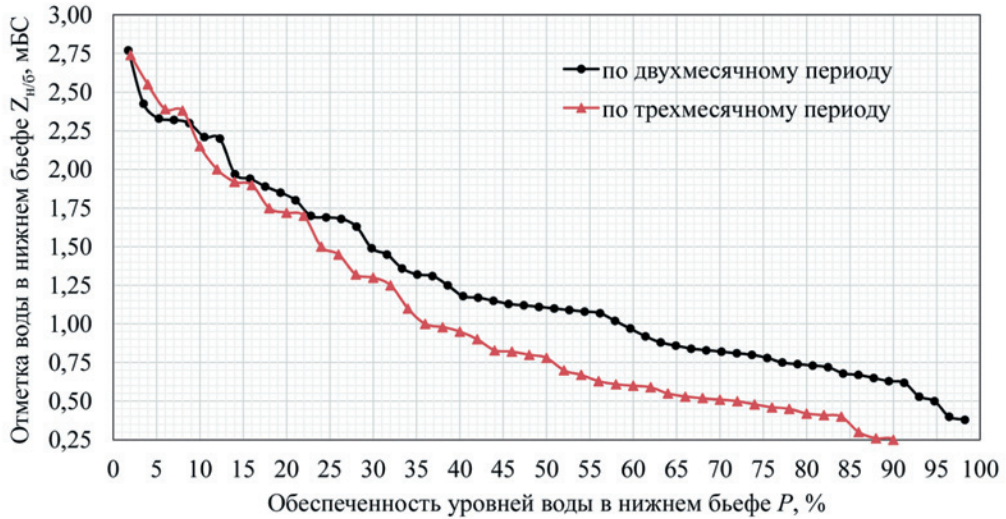


Рис. 3. График функциональной связи  $Z_{н/б} = f(P)$ .  
Fig. 3. Graph of the functional relationship  $Z_{н/б} = f(P)$ .

Таблица 2. Данные по уровням воды в устье р. Западный Маньч  
Table 2. Data on water levels at the mouth of the Western Manych River

Период наблюдений	Уровень обеспеченности отметок воды, P %					
	15	25	50	75	80	85
	Отметка поверхности воды в нижнем бьефе реки, $Z_{н/б}$ мБС					
Апрель–май (проектные данные)	1,95	1,69	1,13	0,79	0,74	0,67
Апрель–июнь (авторские данные)	1,93	1,46	0,79	0,47	0,42	0,37
Среднее значение	1,94	1,67	0,96	0,63	0,58	0,52

Гидрометрическими характеристиками потока, позволяющими оценить качество условий для привлечения рыб из реки в рыбоходный канал, являются скорости течения в створах, соответствующих створам входов (для рыб) в каналы № 1 и № 2 (см. рис. 1), значения которых могут быть определены по зависимостям (1) и (2):

по створу № 1, соответствующему входу (для рыб) в канал № 1:

$$\bar{v}_{p,1} = \frac{Q_{p,i}}{40} \cdot (0,650 + 0,091 \cdot Z_{н/б}^2 - 0,422 \cdot Z_{н/б}), \quad (1)$$

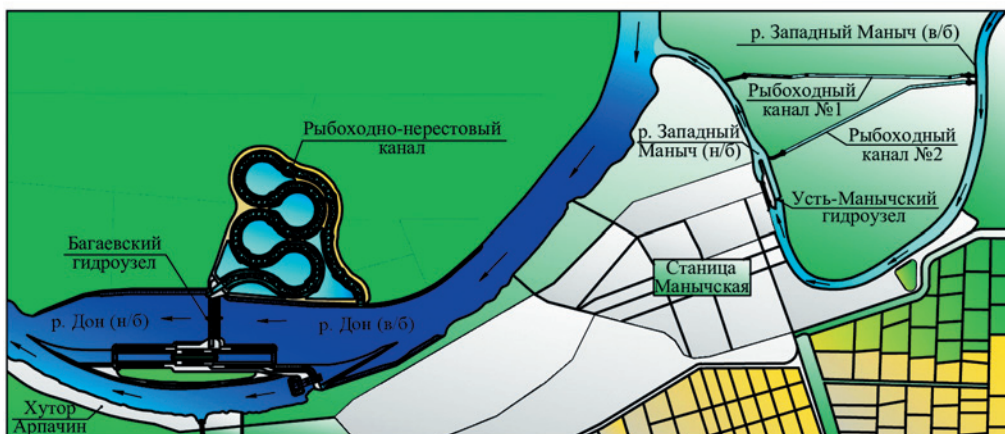
по створу № 2, соответствующему входу (для рыб) в канал № 2:

$$\bar{v}_{p,2} = \frac{Q_{p,i}}{40} \cdot (0,556 + 0,081 \cdot Z_{н/б}^2 - 0,366 \cdot Z_{н/б}), \quad (2)$$

где  $\bar{v}_{p,1}$  и  $\bar{v}_{p,2}$  – средние скорости течения в гидрологических створах № 1 и № 2, м/с;  
 $Q_{p,i}$  – расход реки, сбрасываемый плотиной гидроузла в нижний бьеф в период нерестового хода рыб, м<sup>3</sup>/с;  
 $Z_{н/б}$  – уровень воды в устье р. Западный Маныч, мБС.

Приведенные параметры характеризуют гидрологические условия работы рыбоходных каналов с начала их эксплуатации в 2009 г. и по настоящее время, но не учитывают влияния на них строящегося Багаевского гидроузла [15, 16].

Багаевский гидроузел располагается ниже устьевых створа р. Западный Маныч. Проектом предусматривается регулирование водного потока р. Дон в диапазоне расходов от 150 до 1100 м<sup>3</sup>/с при минимальной отметке уровней воды в верхнем бьефе гидроузла  $Z_{нпу} = 2,0$  мБС. Размещение Багаевского гидроузла и расположение Усть-Манычских рыбоходных каналов представлено на рис. 4.

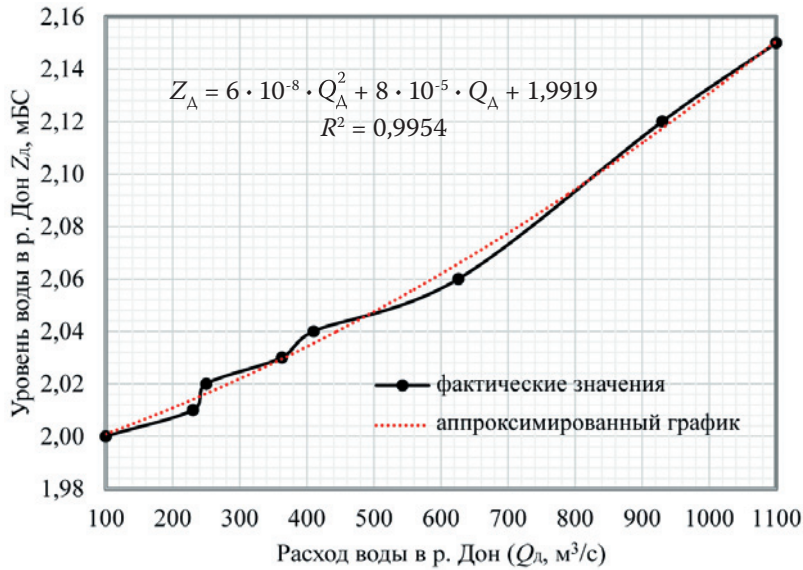


**Рис. 4.** Схема расположения Багаевского гидроузла (р. Дон) и Усть-Манычских рыбоходных каналов (р. Западный Маныч).

Fig. 4. The layout of the Bagaevsky hydroelectric complex (the Don River) and Ust-Manych fish channels (the Western Manych River).

При функционировании Багаевского гидроузла в напорном режиме создаваемый им подпор уровней воды в р. Дон будет оказывать влияние на уровень режим в пределах устьевых участка р. Западный Маныч. Учитывая удаленность устьевых створа р. Западный Маныч (4,1 км) от створа гидроузла и широкий диапазон расходов воды Дона, отметки уровней воды в р. Западный Маныч будут превышать минимальные, принятые в проекте каналов. Численные значения уровней могут быть определены гидравлическим расчетом. Результаты проведенных гидравлико-гидрологических расчетов проиллюстрированы на рис. 5.





**Рис. 5.** Графическое представление функции  $(Z_A)_i = f(Q_A)_i$  по створу р. Дон, соответствующему устью р. Западный Маныч.

Fig. 5. Graphical representation of the function  $(Z_A)_i = f(Q_A)_i$  along the Don River alignment corresponding to the mouth of the Western Manych River.

Зависимость между уровнями  $(Z_A)_i$  и расходами  $(Q_A)_i$  в р. Дон в створе впадения в нее р. Западный Маныч  $(Z_A)_i = f(Q_A)_i$  описывается уравнением:

$$Z_A = 1,992 + 0,00008 Q_A + 0,00000006 Q_A^2, \quad (3)$$

где  $Z_A$  – уровень воды в р. Дон в створе впадения р. Западный Маныч, мБС;

$Q_A$  – расходы р. Дон, пропускаемые через Багаевский гидроузел, м³/с.

По приведенной выше зависимости устанавливаются значения отметок уровня воды ( $Z_A$ , мБС) в р. Дон, позволяющие прогнозировать значения уровней в устье р. Западный Маныч ( $Z_{3/М}$ , мБС) по представленному ниже соотношению:

$$Z_{3/М} = 0,02 \cdot Q_{3/М}^{0,2} + Z_A, \quad (4)$$

где  $Q_{3/М}$  – расход р. Западный Маныч в устьевом створе, м³/с.

Подпор уровней в р. Дон окажет влияние на уровни в р. Западный Маныч. Средние скорости течения в створах входа рыб в каналы могут быть определены по уравнениям (1) и (2) при соответствующих значениях уровней воды.

По данным гидрометрических измерений и принятым в проекте<sup>1</sup> параметрам канала проведен расчет показателя качества условий для привлечения мигрирующих по р. Западный Маныч рыб в тракт канала по зависимости:

$$(\Pi_{к/у})_{пр} = 100,0 \cdot \frac{Q_k}{Q_p} \cdot \left( \frac{\bar{v}_k}{\bar{v}_p} \right)^{0,5} \cdot \left( 1,0 + 5,0 \cdot \frac{\bar{B}_k}{B_p} \right)^{0,5} \cdot \left[ 1,0 - 0,2 \cdot \left( \frac{L_{yA}}{L_{3/п}} \right)^{0,3} \right] \cdot \left[ 1,0 - |v_{кр} - \bar{v}_k|^{0,5} \right], \quad (5)$$

где  $(\Pi_{к/у})_{пр}$  – показатель качества условий для привлечения рыб из реки в канал, %;

$Q_k$  – расход рыбоходного канала, м³/с;

$Q_p$  – расход р. Западный Маныч, м³/с;



$\bar{v}_k$  – средняя скорость водного потока, истекающего из рыбоходного канала, м/с;

$\bar{v}_p$  – средняя скорость потока реки, м/с;

$\bar{B}_k$  – среднее значение ширины водного потока в рыбоходном канале, м;

$\bar{B}_p$  – средняя ширина русла реки в створе входа рыб в канал, м;

$L_{YA}$  – удаленность входного (для рыб) створа канала от плотины, м;

$L_{з/п}$  – удаленность нижней границы зоны поисков от плотины, м;

$v_{кр}$  – крейсерская скорость миграционного перемещения рыб, м/с.

Параметр  $(\Pi_{к/у})_{пр}$ , % определяет величину процентного соотношения количества привлекаемых в рыбоходный канал рыб  $((N_p)_{пр}$ , шт.) от их количества, мигрирующего по реке в нерестовый период  $((N_p)_{нер}$ , шт.) и может быть записан в виде:

$$(\Pi_{к/у})_{пр} = (N_p)_{пр} / (N_p)_{нер} \quad (6)$$

Результаты расчетов для условий 50 % обеспеченности гидрометрических параметров канала № 1 и р. Западный Маныч приведены в табл. 3.

**Таблица 3.** Данные расчета параметра качества гидрометрических условий для функционирования Усть-Манычского рыбоходного канала

Table 3. Data for calculating the quality parameter of hydrometric conditions for the operation of the Ust-Manych fish channel

Гидрологические условия регулирования р. Дон	Значение параметров по зависимости									
	$Q_k$ , м <sup>3</sup> /с	$Q_p$ , м <sup>3</sup> /с	$\bar{v}_k$ , м/с	$\bar{v}_p$ , м/с	$\bar{B}_k$ , м	$\bar{B}_p$ , м	$L_{YA}$ , м	$L_{з/п}$ , м	$v_{кр}$ , м/с	$(\Pi_{к/у})_{пр}$ , %
Без подпора Багаевским гидроузлом	9,0	32,0	0,7	0,35	10,0	120,0	500,0	50,0	0,65	23,6
С подпором Багаевским гидроузлом	9,0	32,0	0,56	0,14	14,8	128,0	500,0	50,0	0,65	29,7

*Примечание:* обозначения приведены в соответствии с таковыми по зависимости (7).

На эффективность работы рыбоходного канала оказывают влияние не только гидрометрические условия на входе в сооружение, но и скорости потока в его тракте, определяемые расходами, уровнями воды и размерами канала. Существующие расходно-скоростные параметры в канале изменятся после пуска в эксплуатацию Багаевского гидроузла. Подпор уровней воды позволит улучшить условия прохода рыб по тракту канала и, в частности, на участке низового переезда (рис. 1), с наблюдаемыми в настоящее время скоростями течений, превышающими значения крейсерских скоростей плавания рыб. Значения качества условий для прохода рыб этого участка составят –  $(\Pi_{к/у})_{пр} = 0,16$  (без подпора) и  $(\Pi_{к/у})_{пр} = 0,70$  (при подпоре). При этом результирующие значения параметра качества условий функционирования канала составят: без подпора –  $(\Pi_{к/у})_{б/п} = 3,8$  %; с подпором –  $(\Pi_{к/у})_{под} = 20,8$  %, что не удовлетворяет потребностям рыбного хозяйства. Указанное обстоятельство предопределяет необходимость реконструкции действующих рыбоходных каналов, при разработке проекта которой необходимо в должной мере учесть гидрологические условия их функционирования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рыбоходные каналы, сооружаемые при речных гидроузлах, предназначены для создания необходимых условий для пропуска рыб в русловое водохранилище (верхний бьеф зарегулированной реки) к местам нереста. Такими сооружениями являются Усть-Маньчские рыбоходные каналы, спроектированные и построенные в конце первого десятилетия XXI в. Однако уже на момент ввода каналов в эксплуатацию и проведения ряда первых научно-исследовательских работ по оценке их эксплуатации были выявлены существенные недостатки конструктивных решений, приводящие к неудовлетворительным оценочным показателям по качеству привлечения, захода и пропуска рыб к нерестилищам Усть-Маньчского водохранилища.

В числе многочисленных недоработок, допущенных проектировщиками Усть-Маньчских рыбоходных каналов, следует отметить неверный и поверхностный подход к обоснованию и оценке гидрологических условий, являющихся ключевым элементом при принятии правильных инженерных решений для таких сооружений. К настоящему времени установлено, что технические решения Усть-Маньчских рыбоходных каналов морально устарели, не отвечают современным, научно обоснованным требованиям к их работе и нуждаются в реконструкции. С этой целью проведены гидрологические изыскания на устьевом участке р. Западный Маньч (от створа плотины Усть-Маньчского гидроузла до створа впадения реки в Дон), позволяющие оценить гидрологические условия функционирования действующих рыбоходных каналов и спрогнозировать их работу при вводе в эксплуатацию Багаевского гидроузла на р. Дон.

Разработанные авторами методические подходы к оценке и прогнозу гидрологических условий функционирования рыбоходных каналов могут быть использованы специалистами в области рыбохозяйственной гидротехники при обосновании проектных решений для аналогичных сооружений, разработка которых предполагается и ведется на гидроузлах рек Кубань и Дон, а также при обосновании проекта реконструкции Усть-Маньчских рыбоходных каналов.

Перспективным направлением для продолжения исследований является разработка дополнений к СП 101.13330.2012, включающих унифицированную методику оценки гидрологических условий функционирования рыбоходных и рыбоходно-нерестовых каналов, устраиваемых при низконапорных речных гидроузлах.

Данное исследование проводилось в рамках выполнения задач Распоряжения Правительства Российской Федерации от 21 июля 2021 г. № 2012-р и Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации, утвержденной 21 января 2020 года.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иваненко И.Н., Жукова С.В. Рыбоводно-биологическое обоснование строительства и разработка нормативов обводного канала Усть-Маньчского ГУ // Кн. 2. АзНИИРХ. Ростов-на-Дону, 2004. 38 с.
2. Шкура Вл.Н., Дроботов А.Н. Рыбоходные и рыбоходно-нерестовые каналы. Новочеркасская государственная мелиоративная академия. Новочеркасск: НГМА, 2012. 203 с.

3. Шкура В.Н., Михальчук А.В. Результаты натурных исследований рыбоходно-нерестового канала на р. Западный Маньч // Рыбоохранные мелиорации и сооружения: мат-лы Всеросс. научно-практ. конф. Ростов-на-Дону, 2008. С. 61–66.
4. Дубинина В.Г. Требования рыбного хозяйства при управлении режимами водохранилищ // Экосистемы: экология и динамика. 2019. Т. 3. № 1. С. 67–97.
5. Дубинина В.Г., Косолапов А.Е., Жукова С.В. Проблема восстановления водных биологических ресурсов поймы Нижнего Дона // Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года». 2015. С. 277–287.
6. Воловик Е.С., Воловик С.П., Косолапов А.Е. Водные и биологические ресурсы Нижнего Дона: состояние и проблемы управления. Новочеркасск: Изд-во СовКавНИИВХ, 2009. 301 с.
7. Hydraulics and design of fishways II: vertical-slot and rock-weir fishways / Abul B. M. Baki, A.H. Azimi // Journal of Ecohydraulics. 2021. P. 1–13. DOI: 10.1080/24705357.2021.1981780.
8. Fishway in hydropower dams: a scientometric analysis / J.L. Brito-Santos, K. Dias-Silva, L.S. Brasil, J. B. da Silva, A. M. Santos, L. M. de Sousa, T. B. Vieira // Environmental Monitoring and Assessment. 2021. Vol. 193. P. 1–17. DOI: 10.1007/s10661-021-09360-z.
9. Research on dams and fishes: Determinants, directions, and gaps in the world scientific production / H. R. Pereira, L. F. Gomes, H. O. Barbosa, F. M. Pelicice, J. C. Nabout, F. B. Teresa, L. C. G. Vieira // Hydrobiologia. 2020. Vol. 847. P. 579–592. DOI: 10.1007/s10750-019-04122-y.
10. Research development in measures for downstream migration of fish through dams / Z. N. Zhai, Y. Wang // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 191: 012026. P. 1–6. DOI: 10.1088/1755-1315/191/1/012026.
11. Evaluation of water quality and dam for sustaining the fish population dynamics / P. Tiwari, M. P. Tiwari // Applied Water Science. 2022. Vol. 12(9). P. 1–11. DOI: 10.1007/s13201-022-01728-x.
12. Mortality and injury rates for small fish passing over three diversion dam spillway models / K. Bestgen, B. Mefford, R. I. Compton // Ecological Engineering. 2018. Vol. 123. P. 141–150. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2018.09.003.
13. Small dams for aquaculture negatively impact fish diversity in Amazonian streams / R. G. C. Sousa, M. de A. Mereles, F. K. Siqueira-Souza, L. E. Hurd, C. E. de Carvalho Freitas // Aquaculture environment interactions. 2018. Vol. 10. P. 89–98. DOI: 10.3354/aei00253.
14. Study on the Population and Effect of Fish Passing Through the Fishway in Cao'e River Gate / Y. Hui, B. Fuqing, C. Xinchuang, C. Xinsheng, S. Yueshu, W. Rong // IOP Conferences Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 510: 042013. P. 1–10. DOI: 10.1088/1755-1315/510/4/042013.
15. Шурухин Л.А. Багаевский гидроузел: инженерные решения и итоги проектирования // Гидротехника. 2018. № 3. С. 41–46.
16. Гайдаев С.К. Рыбоводные сооружения низконапорного Багаевского гидроузла на реке Дон // Гидротехника. 2019. № 2 (55). С. 22–25.
17. Железняков Г.В., Неговская Т.А., Овчаров Е.Е. Гидрология, гидрометрия и регулирование стока. М.: Колос, 1984. 432 с.

## REFERENCES

1. Ivanenko I.N., Zhukova S.V. Fish-breeding and biological justification of construction and development of standards of the bypass canal of Ust-Manychsky WF. V., Book 2. AzNIIRKH. Rostov-on-Don, 2004. 38 p. (In Russ.).
2. Shkura V.N., Drobotov A.N. Fish Passage and Fish Passage/Spawning Channels. Novochoerkassk State Land Reclamation Academy, Novochoerkassk, NGMA, 203 p. (In Russ.).
3. Shkura V.N., Mikhanchuk A.V. The results of field studies of the fish-spawning channel on the Western Manych River. *Ryboohrannye melioracii i sooruzheniya. Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Fish protection reclamation and structures. Materials of the All-Russian Scientific and practical conference]*. Novochoerkassk State Land Reclamation Academy; Professor V.N. Shkura responsible for graduation. 2010. P. 61–66. Rostov-on-Don. 2008. 142 p. (In Russ.).
4. Dubinina V.G. Requirements of fisheries in the management of reservoir regimes. *Ekosistemy: ekologiya i dinamika [Ecosystems: Ecology and Dynamics]*. 2019. Vol. 3. No. 1. P. 67–97 (In Russ.).
5. Dubinina V.G., Kosolapov A.E., Zhukova S.V. The problem of restoring aquatic biological resources of the floodplain of the Lower Don. *Nauchnoe obespechenie realizacii "Vodnoj strategii Rossi-*

- jskoj Federacii na period do 2020 goda*” [Scientific support for the implementation of the “Water Strategy of the Russian Federation for the period up to 2020”]. 2015. P. 277–287 (In Russ.).
6. Volovik E. S., Volovik S. P., Kosolapov A. E. Water and biological resources of the Lower Don: state and management problems. Novochoerkassk: Sovkov-NIIVH. 2009. 301 p. (In Russ.).
  7. Hydraulics and design of fishways II: vertical-slot and rock-weir fishways / Abul B. M. Baki, A. H. Azimi. *Journal of Ecohydraulics*. 2021. P. 1–13. DOI: 10.1080/24705357.2021.1981780.
  8. Fishway in hydropower dams: a scientometric analysis / J.L. Brito-Santos, K. Dias-Silva, L.S. Brasil, J. B. da Silva, A. M. Santos, L. M. de Sousa, T. B. Vieira. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2021. Vol. 193. P. 1–17. DOI: 10.1007/s10661-021-09360-z.
  9. Research on dams and fishes: Determinants, directions, and gaps in the world scientific production / H. R. Pereira, L. F. Gomes, H. O. Barbosa, F. M. Pelicice, J. C. Nabout, F. B. Teresa, L. C. G. Vieira. *Hydrobiologia*. 2020. Vol. 847. P. 579–592. DOI: 10.1007/s10750-019-04122-y.
  10. Research development in measures for downstream migration of fish through dams / Z. N. Zhai, Y. Wang. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018. Vol. 191: 012026. P. 1–6. DOI: 10.1088/1755-1315/191/1/012026.
  11. Evaluation of water quality and dam for sustaining the fish population dynamics / P. Tiwari, M. P. Tiwari. *Applied Water Science*. 2022. Vol. 12(9). P. 1–11. DOI: 10.1007/s13201-022-01728-x.
  12. Mortality and injury rates for small fish passing over three diversion dam spillway models / K. Bestgen, B. Mefford, R. I. Compton. *Ecological Engineering*. 2018. Vol. 123. P. 141–150. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2018.09.003.
  13. Small dams for aquaculture negatively impact fish diversity in Amazonian streams / R. G. C. Sousa, M. de A. Mereles, F. K. Siqueira-Souza, L. E. Hurd, C. E. de Carvalho Freitas. *Aquaculture environment interactions*. 2018. Vol. 10. P. 89–98. DOI: 10.3354/aei00253.
  14. Hui Y., Fuqing B., Xinchuang C., Xinsheng C., Yueshu S., Rong W. Study on the Population and Effect of Fish Passing Through the Fishway in Cao'e River Gate. *IOP Conferense Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 510: 042013. P. 1–10. <https://doi.org/doi:10.1088/1755-1315/510/4/042013>.
  15. Shurukhin L.A. Bagaevsky hydroelectric power plant: engineering solutions and design results. *Gidrotekhnika [Hydraulic engineering]*. 2018. No. 3. P. 41–46 (In Russ.).
  16. Gaidav S. K. Fish-breeding facilities of the low-pressure Bagaevsky hydroelectric complex on the Don River. *Gidrotekhnika [Hydraulic engineering]*. 2019. No. 2(55). P. 22–25 (In Russ.).
  17. Zheleznyakov G. V., Negovskaya T. A., Ovcharov E. E. Hydrology, hydrometry and flow regulation. M.: Kolos, 1984. 432 p. (In Russ.).

#### Сведения об авторах:

**Шкура Виктор Николаевич**, канд. техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации», Россия, 346400, г. Новочеркасск, Баклановский проспект 190; ORCID: 0000-0002-4639-6448; e-mail: VNShkura@yandex.ru

**Шевченко Алексей Викторович**, аспирант, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации», Россия, 346400, г. Новочеркасск, Баклановский проспект 190; ORCID: 0000-0003-4839-6377; e-mail: rigge1111@mail.ru

#### About the authors:

**Viktor N. Shkura**, Candidate of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher, Russian Research Institute of Land Improvement Problems, Baklanovsky Prospekt 190, Novochoerkassk, 346400, Russia; ORCID: 0000-0002-4639-6448; e-mail: VNShkura@yandex.ru

**Aleksey V. Shevchenko**, Post-graduate Student, Junior Researcher, Russian Research Institute of Land Improvement Problems, Baklanovsky Prospekt 190, Novochoerkassk, 346400, Russia; ORCID: 0000-0003-4839-6377; e-mail: rigge1111@mail.ru

## Развитие колониального оболочника *Botryllus schlosseri* и мшанки *Cryptosula pallasiana* в сообществах макрообрастания на искусственных субстратах (Севастопольская бухта, Черное море)

Л.Б. Далёкая 

✉ dalekaya1950@mail.ru

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского»  
Российской академии наук, г. Севастополь, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** Флуктуации численности и биомассы массовых видов макрообрастания следует учитывать при культивировании с целью получения из них биологически активных веществ, для прогнозирования закономерностей формирования прибрежных сообществ и разработки методов борьбы с этим видом биоповреждений. В работе рассмотрена динамика оседания и развития массовых видов сообщества макрообрастания: колониального оболочника *Botryllus schlosseri* (Pallas, 1766) и мшанки *Cryptosula pallasiana* (Moll, 1803) на искусственных субстратах короткой и длительной экспозиции в вершинной части Севастопольской бухты в двух периодах: 1979–1987 гг. и 2011–2015 гг.

**Методы.** Для выявления особенностей динамики сообществ обрастания применяли метод попарно соединенных стеклянных экспериментальных пластин. Сравнительный анализ видового состава и структуры сообществ макрообрастания проводили в течение ряда лет на пластинах 10, 30-суточной и 1–12-месячной экспозиции. Для этого в начале января, ежедекадно и ежемесячно устанавливали и обрабатывали в течение года серию пластин различной экспозиции. **Результаты.** Установлено, что увеличение экспозиции субстратов способствовало разрастанию колоний *Botryllus schlosseri* и смещению пика численности мшанки *Cryptosula pallasiana*. Выявлены многолетние флуктуации структурных характеристик в сообществах макрообрастания на искусственных субстратах.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *Botryllus schlosseri*, *Cryptosula pallasiana*, Черное море, обрастание, искусственный субстрат, экспозиция, сукцессия, биомасса.

**Финансирование:** Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана», № 121030100028-0.

**Для цитирования:** Далёкая Л.Б. Развитие колониального оболочника *Botryllus schlosseri* и мшанки *Cryptosula pallasiana* в сообществах макрообрастания на искусственных субстратах (Севастопольская бухта, Черное море) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2022. № 5. С. 96–106. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_5\_8.

Дата поступления: 25.08.2022.



## DEVELOPMENT OF *BOTRYLLUS SCHLOSSERI* COLONIAL SHELL AND *CRYPTOSULA PALLASIANA* PEARLWEED IN ENCRUSTATION COMMUNITIES AT THE ARTIFICIAL SUBSTRATES (THE BLACK SEA SEVASTOPOL BAY)

Lyudmila B. Dalyokaya 

✉ dalekaya1950@mail.ru

Russian Academy of Sciences A.O. Kowalewski Institute of Marine Biological Researches,  
Sevastopol, Russia

### ABSTRACT

**Relevance.** The mass species of macro/encrustation abundance and biomass fluctuations are to be taken into account in the process of their cultivation with the purpose of obtaining biologically active substances, in order to forecast the offshore communities formation regularities and development of methods to prevent this type of biological impairment. The article discusses dynamics of precipitation and development of mass species of the macro/encrustation communities: colonial shell *Botryllus schlosseri* (Pallas, 1766) and bryozoans *Cryptosula pallasiana* (Moll, 1803) at artificial substrates of short and prolonged exposition in the apical part of the Sevastopol bay during 1979–1987 and 2011–2015 periods. **Methods.** To reveal special features of the encrustation communities' dynamics we used the method of in-pairs connected glass experimental plates. We conducted comparative analysis of the species composition and structure of the macro/encrustation communities for a number of years with the plates of 10, 30 days and 1-12 months exposition. To do this we every ten days and every month since January arranged and processed a series of plates of various expositions. **Results.** The article states that increase of the substrates exposition promotes enlargement of colonies of *Botryllus schlosseri* and shift of the bryozoans *Cryptosula pallasiana* abundance pick. We have revealed many-year fluctuations of the structural characteristics in the macro/encrustation communities at artificial substrates.

**Keywords:** colonial shell *Botryllus schlosseri*, bryozoans *Cryptosula pallasiana*, artificial substrates of various exposures, long-term fluctuations, Sevastopol Bay (Black Sea).

**For citation:** Dalyokaya L.B. Development of colonial shell *Botryllus schlosseri* and bryozoans *Cryptosula pallasiana* in encrustation communities at the artificial substrates (the Black Sea Sevastopol Bay). *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2023. No. 5. P. 96-106. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_5\_8.

Received 25.08.2022.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время большое внимание уделяется выявлению гидробионтов, перспективных для получения из них биологически активных веществ. В этом отношении заслуживают внимания некоторые виды макрообрастания, например, колониальная асцидия *Botryllus schlosseri* (Pallas, 1766) (далее – *B. schlosseri*) [1–3]. В зависимости от начала развития сообществ на искусственных субстратах в 1980–1990-е годы оболочник *B. schlosseri* формировал первую или вторую стадию сукцессии различной интенсивности [4]. В 1990-е и в начале 2000-х годов стадию доминирования *B. schlosseri* вытеснило массовое развитие одиночной асцидии *Molgula euprocta* Drasche (далее – *M. euprocta*) [5]. В этот период в сообществах выявлена незначительная численность *B. schlosseri* в качестве эпибионта на поверхности *M. euprocta*. В 2011–2015 гг. отмечено исчезновение из обрастания *M. euprocta* и некоторое увеличение численности и биомассы колониального оболочника *B. schlosseri* в сообществах при преимущественном развитии мшанки *C. pallasiana*.

Мшанка *C. pallasiana* имеет широкое распространение в обрастании в Мировом океане<sup>1</sup>. В вершинной части Севастопольской бухты в течение всех периодов наблюдений мшанка *Cryptosula pallasiana* (далее – *C. pallasiana*) является постоянным спутником в обрастании и массовым видом, создающим существенную минеральную составляющую биомассы сообществ. В обрастании в незначительном количестве развиваются также мшанки *Conopeum seurati* (Canu, 1928), *Bowerbankia imbricata* (Adams, 1798), *Scrupocellaria bertholletii* Audouin, 1826.

Цель данной работы – выявление особенностей развития *B. schlosseri* и *C. pallasiana* в сообществах обрастания на искусственных субстратах различной экспозиции в течение двух периодов: 1979–1987 гг. и 2011–2015 гг.

Данные о флуктуациях численности и биомассы перспективных с позиций культивирования с минимальным количеством сопутствующих гидробионтов видов макрообрастания важны с целью получения из них биологически активных веществ, а также с позиций разработки методов борьбы с этим видом биоповреждений.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Действие локальных условий обитания гидробионтов, физико-химические свойства субстратов, их ориентация, глубина погружения, удаленность от берега, начало экспонирования в море обуславливают существенные различия качественных и количественных характеристик сообщества. Поэтому для выявления закономерностей формирования обрастания необходимо нивелировать влияние факторов, которые не являются определяющими для развития гидробионтов в конкретном районе. Для этого был использован однотипный субстрат со стабильным месторасположением.

Материал для изучения состава и структуры сообщества обрастания искусственных субстратов отобран в стандартной точке наблюдений в вершине Севастопольской бухты в 1979–1987 гг. и 2011–2015 гг. по специальной программе, предусматривающей сбор однотипной информации:

Для выявления особенностей динамики сообществ обрастания применяли метод экспериментальных пластин [6]. Используемые субстраты представляли собой стеклянные пластины размером 4 x 12 см. После крепления площадь поверхности для оседания и развития обрастателей составляла 40 см<sup>2</sup>. Попарно соединенные стекла укрепляли с помощью резинового жгута в металлической раме и в вертикальной плоскости погружали в море на глубину 1–1,5 м. Общая глубина в точках исследования составляла 4–6 м. Ориентация пластин выдерживалась с севера на юг. Дискретность снятия образцов с последующей заменой соответствовала методическим рекомендациям [7] и варьировала в зависимости от задач наблюдений.

Сравнительный анализ видового состава и структуры сообществ макрообрастания проводили в течение ряда лет на пластинах 10, 30-суточной и 1–12-месячной экспозиции (развивающихся с января). Для выявления дина-

<sup>1</sup> Каталог фауны обрастания в мировом океане. Т. 1. М.: Изд.-во Товарищества научных изданий КМК, 2004. 219 с.

мики оседания гидробионтов использовали образцы короткой экспозиции – 10 суток, устанавливаемые и изымаемые из моря еженедельно. Экспериментальные пластины 30-суточной экспозиции расширяют возможность колонизации субстратов обрастателями. Более длительная экспозиция в период незначительного количества личинок в планктоне увеличивает пространственно-временные границы для поиска субстрата личинками и в большей мере дает представление о интенсивности роста популяций за счет оседания новых особей, почкования и роста развивающихся колоний. Формирование ценоза обрастания и ход сукцессии изучали на образцах длительной экспозиции. Для этого в начале января устанавливали серию пластин сроком на 1–12 месяцев. Через 30 суток проводили съемку образцов различной экспозиции.

При достижении необходимого срока экспонирования субстраты с обрастанием, не нарушая целостности сообщества, погружали в сосуды с морской водой и доставляли в лабораторию. Парно соединенные пластины (4–6 шт. для каждой серии наблюдений) разъединяли.

Видовой состав и численность макрообрастателей в сообществах идентифицировали на живом материале в кюветах с морской водой под бинокулярном МБС-10 в нескольких полях зрения (по вертикали и горизонтали пластин). Затем проводили пересчет среднедекадной, среднемесячной численности на площадь поверхности субстрата. Определение видовой принадлежности проводили по определителям черноморской фауны<sup>2</sup>. Сырую массу макрообрастателей определяли на электронных весах ТВЕ-2,1.

Учет колониальных форм, образующих на поверхности пластин густые поселения и выросты над поверхностью субстратов, весьма затруднен. Иногда вся поверхность пластин была покрыта мшанками в несколько слоев. В этих случаях определяли суммарную площадь, занятую мшанками, и осуществляли пересчет, принимая во внимание, что поле зрения бинокуляра площадью 0,63 см<sup>2</sup> содержит в среднем 140 анцеструл.

При анализе количественного распределения обрастателей применяли статистические методы, показавшие, что отклонение от средней не превышало 20 %.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Потенциальная способность макрообрастателей оседать на свободный субстрат и вероятность включения видов в сообщества позволяют выявить пластины короткой экспозиции (10 и 30 сут). Динамика среднедекадной численности и биомассы мшанки *C. pallasiana* и колониального оболочника *B. schlosseri* в сообществах 10-суточной экспозиции в 1979–1987 гг. представлена на рис. 1.

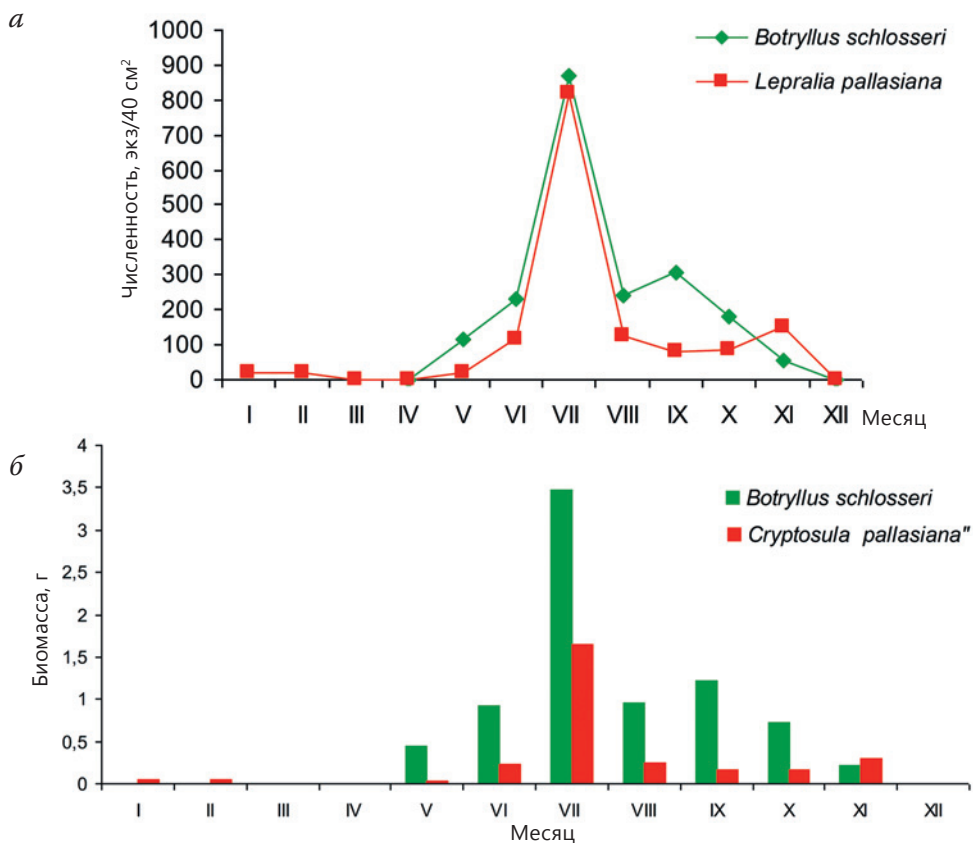
На пластинах 10-суточной экспозиции в декабре–мае оседали единичные экземпляры мшанки *C. pallasiana* (рис. 1а). В июне наблюдалось увеличение ее численности с максимальными значениями в июле. В августе обнаружено резкое снижение численности *C. pallasiana*, которая оставалась незначитель-

<sup>2</sup> Определитель фауны Черного и Азовского морей. К.: Наукова думка, 1972. Т. 3. 337 с.

ной до декабря. Оседание колониальной асцидии *B. schlosseri* наблюдалось в мае–ноябре, при этом в мае–июне численность оболочника была невелика и аналогична значениям в августе–ноябре. Пик численности оболочника и мшанки приходился на июль.

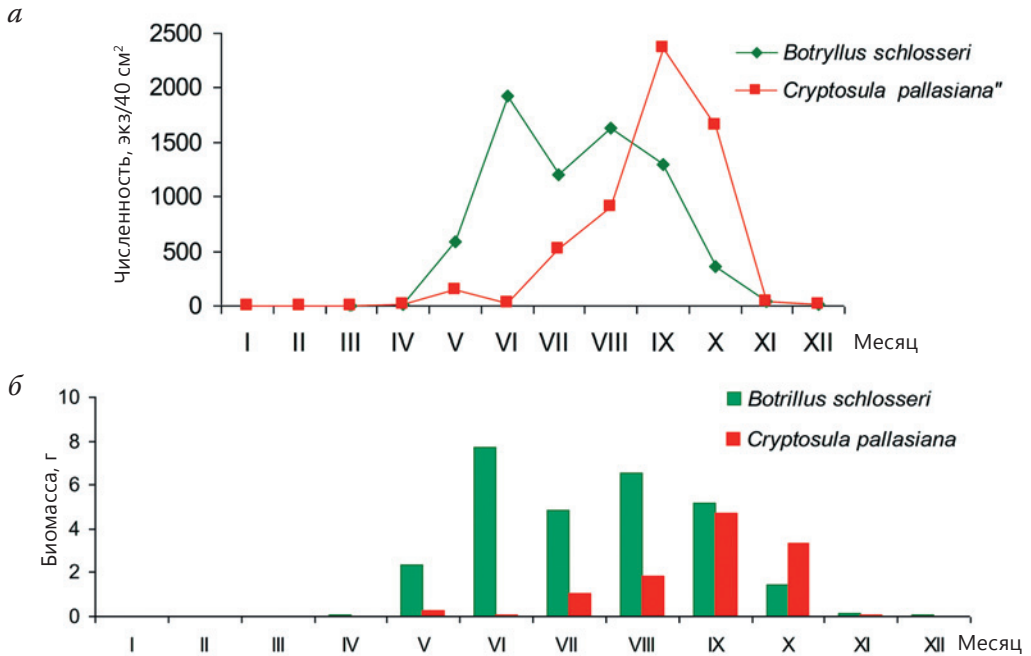
Таким образом, на субстратах 10-суточной экспозиции оседание *C. pallasiana* и *B. schlosseri* происходило синхронно, не препятствуя друг другу. Однако сырая масса оболочника в мае–октябре значительно превышала массу мшанки (рис. 1б). Еще более выражено это явление было в сообществах 30-суточной экспозиции за счет особенностей роста колоний оболочника (рис. 2б).

Максимальные значения численности колониального оболочника в сообществах 30-суточной экспозиции наблюдались в июне–августе (рис. 2а). За счет интенсивного роста колоний биомасса оболочника значительно превышала количество мшанки в мае–сентябре. Только в октябре на фоне резкого уменьшения численности *B. schlosseri* биомасса мшанки *C. pallasiana* стала в два раза больше биомассы оболочника.



**Рис. 1.** Динамика средней численности макрообрастателей (а) и биомассы (б) на пластинах 10-суточной экспозиции в вершине бухты Севастопольской, 1979–1987 гг.

Fig. 1. Dynamics of the average abundance of macrofoulers (a) and biomass (b) on plates of a 10-day exposure at the top of Sevastopol Bay, 1979–1987.



**Рис. 2.** Динамика средней численности макрообрателей (а) и биомассы (б) на пластинах 30-суточной экспозиции в вершине бухты Севастопольской, 1979–1987 гг.

Fig. 2. Dynamics of the average number of macrofouling (a) and biomass (b) on plates of 30 daily exposures at the top of Sevastopol Bay, 1979–1987.

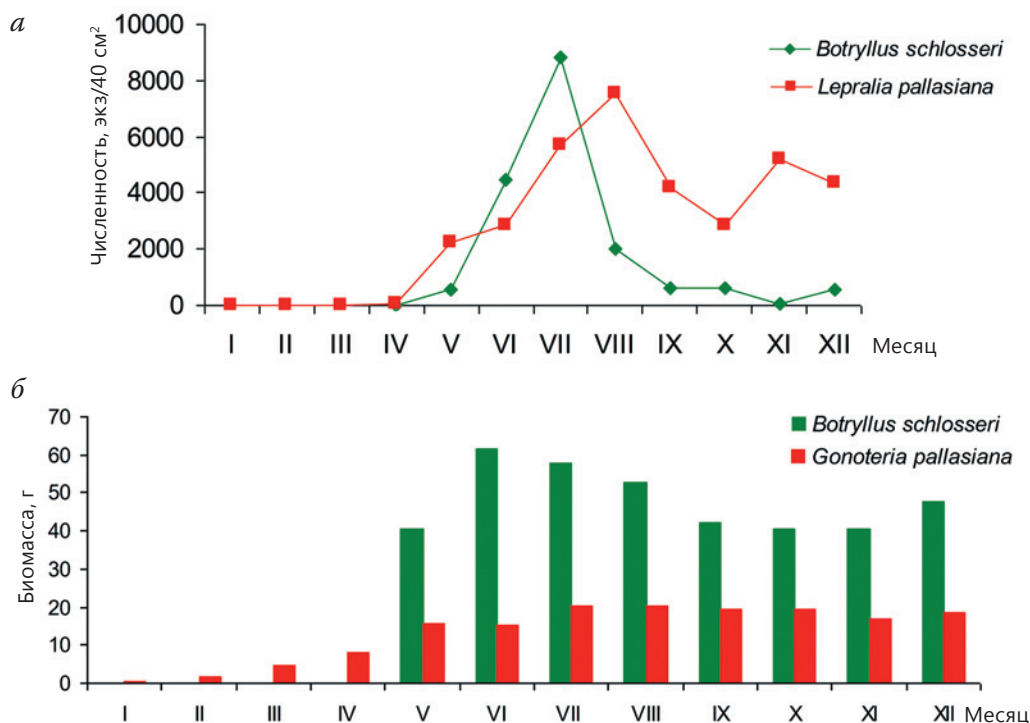
На субстратах 30-суточной экспозиции происходило как оседание личинок, так и интенсивный рост колоний оболочника. Разрастание мезоглеи колоний *B. schlosseri* препятствовало развитию *C. pallasiana* в июле в отличие от сообществ 10-суточной экспозиции. Пик численности мшанки выявлен в сентябре на фоне резкого снижения численности оболочника за счет отрыва колоний от субстрата под собственной тяжестью из-за разрастания мезоглеи.

В сообществах многомесячного обрастания (развивающихся с января в 1979–1987 гг.) в январе–апреле выявлена незначительная численность *C. pallasiana* и *B. schlosseri* (рис. 3а).

В мае доминировала мшанка, хотя численность ее невысока, затем она увеличивалась с формированием многослойных поселений и выростов над субстратом. В августе–декабре *C. pallasiana* преобладала в сообществе по численности при резком уменьшении развития оболочника. В июне-июле численность *B. schlosseri* в сообществах резко увеличивалась. В конце лета снижение плотности происходило за счет отрыва части колоний от субстрата под собственной тяжестью вследствие разрастания мезоглеи. В августе–декабре численность *B. schlosseri* сохранялась за счет уцелевших, сильно разросшихся колоний или развития в качестве эпибionта. В ноябре-декабре численность колониального оболочника уменьшалась до нулевых значений.



Таким образом, в 1979–1987 гг. в июне-июле колониальный оболочник *B. schlosseri* доминировал по численности в сообществах многомесячного обростания, а в августе–декабре – *C. pallasiana*. Несмотря на превышающую численность мшанки в этих сообществах, биомасса *B. schlosseri* была многократно выше, особенно в мае–августе (рис. 3б). Уменьшение биомассы оболочника в августе–декабре связано с отрывом *B. schlosseri* от субстрата и снижением оседания в этот период.

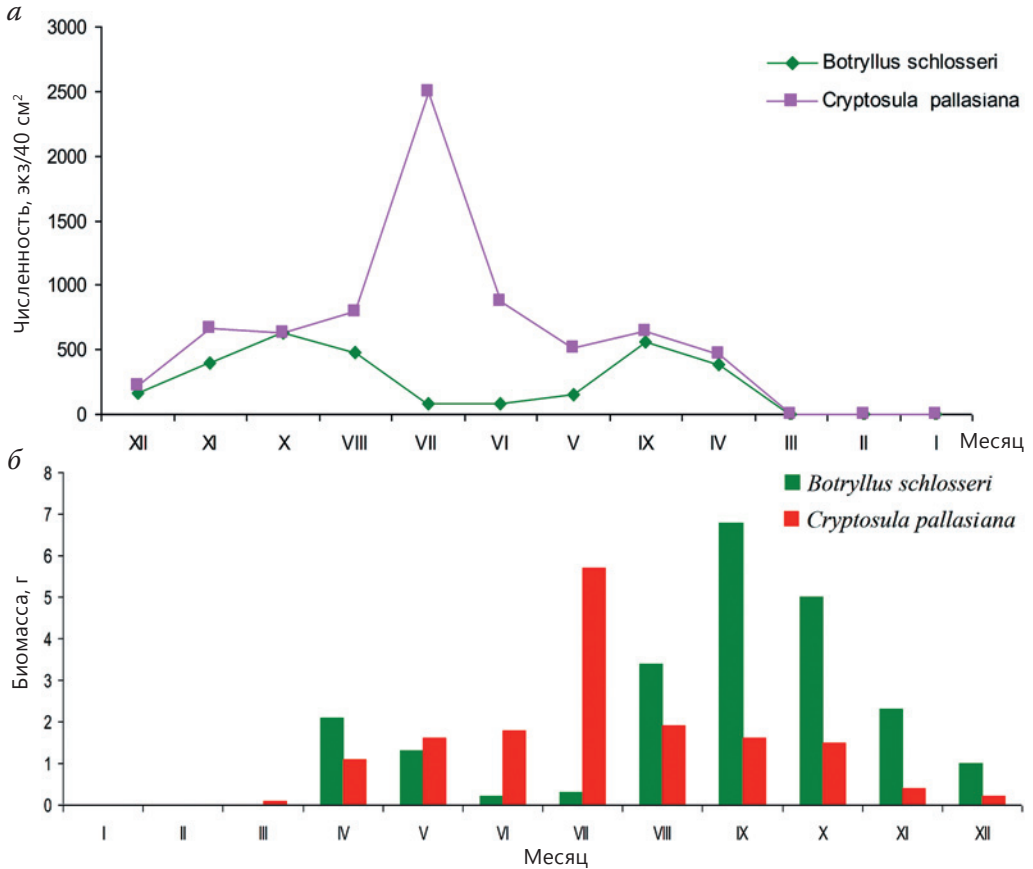


**Рис. 3.** Динамика средней численности (а) и биомассы (б) макрообрастателей на пластинах многомесячной экспозиции в вершине бухты Севастопольской, 1979–1987 гг.

Fig. 3. Dynamics of the average abundance (a) and biomass (b) of macrofouling on multi-month exposure plates at the top of Sevastopol Bay, 1979–1987.

По данным 2011–2015 гг. выявлено массовое развитие мшанки *C. pallasiana* в сообществах обростания разной экспозиции. В отличие от периода 1970–1980 гг. оседание и развитие мшанки на субстратах 30-суточной экспозиции обнаружено в апреле (рис. 4а).

Пик численности мшанки *C. pallasiana* на субстратах 30-суточной экспозиции наблюдался в июле. Численность колониального оболочника в течение года была минимальной, что отражено в динамике накопления его биомассы (рис. 4б). Так, в 1980-е годы, в июне, в период массового развития *B. schlosseri* его биомасса в сообществе 30-суточной экспозиции была в 16 раз больше по сравнению с периодом 2011–2015 гг.



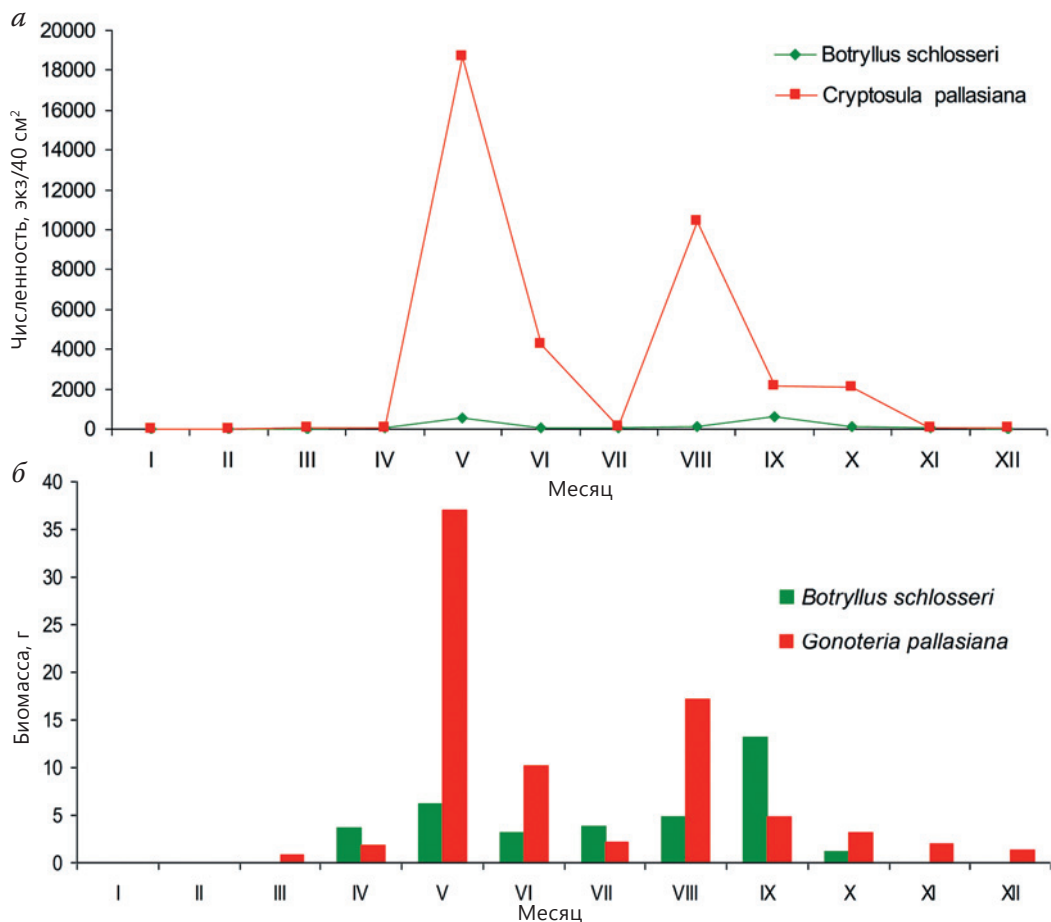
**Рис. 4.** Динамика средней численности макрообрастателей (а) и биомассы (б) на субстратах 30-суточной экспозиции в вершине Севастопольской бухты в 2011–2015 гг.

Fig. 4. Dynamics of the average number of macrofouling (a) and biomass (b) on substrates of 30-day exposure at the top of Sevastopol Bay, 2011–2015.

В 2011–2015 гг. в многомесячном сообществе выявлено преимущественное развитие мшанки (рис. 5а). Пик численности *C. pallasiana* отмечен в мае, тогда как в период 1979–1989 гг. наблюдалось постепенное увеличение ее численности с апреля по август.

Максимальная численность *C. pallasiana* в обрастании в летние месяцы в 2,2 раза выше в 2011–2015 гг. по сравнению с 1979–1987 гг., 18 и 8 тыс. экз., соответственно. Показательно, что значения численности *B. schlosseri* в 2011–2015 гг. незначительны в течение всего года. Биомасса сообществ с увеличением экспозиции закономерно возрастала в 2011–2015 гг., однако была многократно меньше, чем в 1979–1987 гг. При этом биомасса *C. pallasiana* составляла более 35 г/40 см<sup>2</sup>, тогда как несколько десятилетий назад не превышала 20 г/40 см<sup>2</sup>.

Аналогичные явления многолетних различий развития макрообрастателей отмечены в Одесском заливе [10]. Сравнение видового состава сообществ обрастания в 2016 г. с данными, полученными в том же районе моря в 1976



**Рис. 5.** Динамика средней численности макрообрастателей (а) и биомассы (б) на субстратах многомесячной экспозиции в вершине Севастопольской бухты в 2011–2015 гг.

Fig. 5. Dynamics of the average number of macrofouling (a) and biomass (b) on substrates of many months exposure at the top of the Sevastopol Bay in 2011–2015.

и 1994 г., показало существенные различия соотношения видов. Так, ранее не обнаруженный в обрастании *B. schlosseri* в 2016 г. отмечен в нескольких районах залива.

Изучение особенностей формирования обрастания на искусственных субстратах позволяет выявить закономерности развития сообществ, что является основой для прогнозирования функционирования ценозов.

### ВЫВОДЫ

Длительные наблюдения за развитием обрастаний на искусственных субстратах выявили особенности развития отдельных видов. В 1979–1987 гг. на субстратах 10-суточной экспозиции происходило синхронное оседание *C. pallasiana* и *B. schlosseri* со значительным превышением сырой массы оболочки в мае–октябре. Особенности роста колоний вызывает смещение сро-

ков развития видов при увеличении экспозиции субстратов. В сообществах 30-суточной экспозиции максимальные значения численности оболочника наблюдались в июне–августе, а пик численности мшанки выявлен в сентябре. В сообществах многомесячного обрастания колониальный оболочник *B. schlosseri* доминировал по численности в июне-июле, а в августе–декабре – *C. pallasiana*. Несмотря на превышающую численность мшанки в этих сообществах, биомасса *B. schlosseri* многократно выше, особенно в мае–августе.

В период 2011–2015 гг. выявлено массовое развитие мшанки *C. pallasiana* в сообществах обрастания разной экспозиции и значительное уменьшение численности и биомассы колониального оболочника *B. schlosseri*. В летние месяцы численность *C. pallasiana* была в 2,2 раза выше по сравнению с аналогичным периодом 1979–1987 гг. При этом биомасса *C. pallasiana* составляла более 35 г/40 см<sup>2</sup>, тогда как несколько десятилетий назад не превышала 20 г/40 см<sup>2</sup>. В период массового развития *B. schlosseri* его биомасса была в 16 раз меньше по сравнению с 1979–1987 гг.

Изучение многолетних флуктуаций численности и биомассы доминирующих видов первичной сукцессии в биоценозах на искусственных субстратах имеет научное и практическое значение. Данные о многолетних флуктуациях численности массовых видов макрообрастания следует учитывать при культивировании доминирующего вида с минимальным количеством сопутствующих гидробионтов с целью получения из них биологически активных веществ. Выявление особенностей развития видов позволяет прогнозировать закономерности формирования сообществ обрастания, что важно также при разработке методов борьбы с этим видом биоповреждений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нехорошев М.В., Гринцов В.А., Апрышко Р.Н. Перспектива создания противоопухолевых препаратов из оболочников, культивируемых в Черном море // Российский биотерапевтический журнал. 2006. Т. 5. № 1. С. 17.
2. Kennetb L. Renebart Antitumor Compounds from Tunicates // Medicinal Research Reviews. No. 1. 2000. P. 1–27.
3. Далёкая Л.Б. Оболочники (Ascidacea) – перспективный объект культивирования // Экология моря. 2010. № 81. С. 37–39.
4. Далёкая Л.Б. Первичная сукцессия сообществ обрастания на искусственных субстратах в Севастопольской бухте // Наукові записки Тернопільського педагогічного університету Сер. Біологія. 2010. № 3 (44). С. 69–71.
5. Далёкая Л.Б., Умянцева А.В. Динамика численности оболочников в сообществах обрастания искусственных субстратов // Современные проблемы экологии Азово-Черноморского бассейна: IV междунар. конф. 8–9 окт. 2009 г. Керчь, 2010. С. 68–73.
6. Брайко В.Д. Обрастание в Черном море. Киев: Наукова думка, 1985. 250 с.
7. Долгопольская М. А. Экспериментальное изучение процесса обрастания в море // Труды Севастопольской биологической станции. Т. VIII. М.: Изд-во АН СССР, 1954. С. 157–173.
8. Варигин А. Ю. Долговременная динамика состояния сообществ обрастания Одесского залива Черного моря // Biosystems Diversity. 25(2). 2017. С. 61–66.

#### REFERENCES

1. Nekhoroshev M. V., Grincov V. A., Apryshko R. N. Prospects of development of antitumoral medications made from tunicates cultivated in the Black Sea. *Russian Bio/therapeutic Journal*. 2006. Vol. 5. No. 1. P. 17 (In Russ.).

2. Kennetb L. Renebart Antitumor Compounds from Tunicates. *Medical Research Reviews*. 20. № 1. 2000. P. 1–27.
3. Dalyokaya L. B. Tunicates (Asciadiacea) as a promising object of cultivation. *Marine ecology*. 2010. 81. P. 37–39 (In Russ.).
4. Dalyokaya L.B. Primary succession of encrustation communities at artificial substrates in the Sevastopol Bay. *Scientific Notes of Ternopil Pedagogical University*. Ser. Biology. 2010. No. 3 (44). P. 69–71 (In Russ.).
5. Dalyokaya L. B., Umyanceva A.V. Tunicates abundance dynamics in the artificial substrates encrustation communities. *Current problems of the Azov-Black Sea basin ecology: IV International Conference, October 8-9, 2009 Kerch*. 2010. P. 68–73 (In Russ.).
6. Brayko V.D. Encrustation in the Black Sea. Kiev: Naukova dumka, 1985. 250 p. (In Russ.).
7. Dolgopol'skaya M. A. Experimental studying of the encrustation process in a sea. *Proceedings of the Sevastopol Biological Station*. Vol. VIII. M.: Izd-vo AN SSSR, 1954. P. 157–173 (In Russ.).
8. Varigin A.Y. Long-term dynamics of the encrustation communities state in the Black Sea Odessa Bay. *Biosystems Diversity*. 25(2). 2017. P. 61–66 (In Russ.).

**Сведения о авторе:**

**Далёкая Людмила Борисовна**, младший научный сотрудник, лаборатория фиторесурсов отдела биотехнологии и фиторесурсов, Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского» Российской академии наук, Россия, 299011 г. Севастополь, ул. Нахимова 2; ORCID: 0000-0001-5862-3364; e-mail: dalekaya 1950@mail.ru

**About the author:**

**Lyudmila B. Dalyokaya**, Junior Researcher, Russian Academy of Sciences A.O. Kowalewski Institute of Marine Biological Researches Department of Biotechnology and Phyto/resources Laboratory of Phyto/resources, ul. Nakhimova, 2, Sevastopol, 299011, Russia; ORCID: 0000-0001-5862-3364; e-mail: dalekaya 1950@mail.ru



---

## REQUIREMENTS TO MATERIALS TO BE ACCEPTED FOR PUBLICATION IN «WATER SECTOR OF RUSSIA» JOURNAL

Papers in Russian, never published anywhere before, can be accepted for publication. The optimal size of an article is to be 16–24 thousand of characters with blanks, not more than 20 pages including figures and tables.

An article is to be accompanied with a paper with information about the authors (complete name, position, academic degree, full name of an institution/company, postal address, telephone number, fax, e-mail address).

A paper should contain a Universal Decimal Classification index, key words and an abstract. The following structure can be optimal: a brief introducing part with clearly defined and characterized problem under discussion, a conceptual part, concrete conclusions from the stated material, and the list of references.

An article is to be accompanied with the English translation of the name of the article, key words, the abstract, short information on the authors (name, full and abbreviated name of the institution/company, postal address).

The text is to be typed without division of words with width alignment, Times New Roman, 12 point type, 1,5 line spacing, 2,5 cm margins from all sides. Roman figures are to be typed in the Roman type.

Numerical data are to be arranged as tables. The tables should not be ponderous. Each table is to have a number and a name. Tables are to be through numbered. Abbreviation of words in the tables are not allowed, units of measurement excluded. Numerical values in the tables and in the text are to be in the CI units.

References are to be presented in a general list in the end of the paper. References are to be numbered and arranged in a bibliographic list in accordance with GOST P 7.0.5 2008 «Bibliographic reference. General requirements and rules of composition». References in the text are to be given in square brackets (for instance, [4]), in successive order.

Figures, drawings, charts, and diagrams are to be inserted into the text as separate files each. General number of figures is not to exceed 10–12.

An electronic version of an article in Microsoft Word is to be sent with e-mail. Photographs, drawings, figures, charts, diagrams are to be presented additionally as separate files in JPEG and TIFF with resolution at least 300 dpi, 9×12 cm at least, all diagrams in Excel.

Manuscripts are reviewed and edited in RosNIIVKh editorial office.

Materials meant for publication are to be submitted to RosNIIVKh, e-mail address: [info@waterjournal.ru](mailto:info@waterjournal.ru).

## ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ, ПРИНИМАЕМЫХ К ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛ «ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ»

К публикации принимаются ранее не публиковавшиеся статьи на русском языке. Оптимальный объем статей составляет 0,4–0,6 авторского листа (16–24 тыс. знаков с пробелами, не более 20 с., включая рисунки и таблицы).

Статьи должны иметь **индекс УДК, ключевые слова** (10–15 слов) и **автореферат** (аннотацию), объем аннотации – 150–200 слов. Оптимальной является следующая структура статьи: краткая вводная часть с четкой формулировкой и характеристикой обсуждаемой проблемы, содержательная часть, конкретные выводы, вытекающие из изложенного материала, список литературы.

К статье необходимо приложить **перевод на английский язык названия, ключевых слов, аннотации и сведений об авторах** (ФИО полностью, должность, ученая степень и ученое звание, полное наименование организации, почтовый адрес, телефон, адрес электронной почты).

Текст набирается **без переносов** с выравниванием по ширине страницы, шрифт Times New Roman, **кегель 12, межстрочный интервал 1,5, поля 2,5 см со всех сторон**. Римские цифры набираются в английском регистре.

Цифровые данные оформляются в виде таблиц. Каждая таблица должна иметь порядковый номер и название. Нумерация таблиц – сквозная. Сокращения слов в таблицах не допускаются, за исключением единиц измерения. Численные значения величин в таблицах и тексте должны приводиться в единицах измерения СИ (обязательных).

Ссылки на литературные источники следует давать в квадратных скобках (например, [4]), порядок нумерации последовательный – по мере появления ссылок в тексте статьи.

Цитируемая литература приводится списком в конце статьи. Литературные источники должны быть пронумерованы и оформлены в библиографический список в соответствии с ГОСТом Р 7.0.5 2008. Пристатейный список литературы на латинице References в системе транслитерации LC размещается сразу за списком литературы.

Рисунки, чертежи, графики, схемы, диаграммы вставляются в текст статьи как объект. **Общее количество рисунков в статье не должно превышать 10–12.**

Для публикации представляется электронный вариант статьи в формате текстового редактора Microsoft Word. **Фотографии, рисунки, чертежи, графики, схемы, диаграммы дополнительно представляются в виде отдельного файла (рисунки, чертежи, графики, схемы – в формате Corel Draw, tiff, jpg разрешением 300 dpi размером не менее 9×12 см, диаграммы – в формате Excel).**

Материалы для публикации необходимо направлять в РосНИИВХ по электронной почте [info@waterjournal.ru](mailto:info@waterjournal.ru).

---

Редакторы: Т.М. Принцева, Н.А. Валек

Подписано в печать 13.10.2023. Дата выхода в свет 27.10.2023.

Формат 70x100<sup>1/16</sup>. Усл. печ. л. 6,75. Тираж 200 экз. Цена свободная.

Отпечатано в типографии ООО «ДжиЛайм»,

юридический адрес: 620078, г. Екатеринбург, ул. Мира 37-25.

Тел.: +7(343)362-42-28, [www.glime.ru](http://www.glime.ru), e-mail: [g\\_lime@mail.ru](mailto:g_lime@mail.ru)

## ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Федеральное агентство водных ресурсов является органом исполнительной власти по оказанию государственных услуг и управлению государственным имуществом в сфере водных ресурсов.

Адрес: 117292, Москва, ул. Кедрова, дом. 8, корп. 1

Станции метро: Академическая, Профсоюзная

Телефон: 8 (499) 125-52-79

E-mail: [water@favr.ru](mailto:water@favr.ru), <http://voda.mnr.gov.ru>

## ФГБУ РОССИЙСКИЙ НИИ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

ФГБУ РосНИИВХ – научное подразделение Федерального агентства водных ресурсов, создан для научного обеспечения государственных функций управления использованием и охраны водных ресурсов, разработки нормативно-методической и проектной документации, направленной на устойчивое развитие водного хозяйства России и экономическую безопасность водопользования.

В структуру института входят филиалы в городах Владивосток, Чита, Пермь, Уфа.

620049, г. Екатеринбург, ул. Мира, 23

Телефон/факс: (343) 287-65-71

E-mail: [wrm@wrm.ru](mailto:wrm@wrm.ru), <http://wrm.ru>

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Рег. номер ПИ № ФС77-82772 от 4 марта 2022 г.

Выходит с 1999 года 6 раз в год.

**АДРЕС ИЗДАТЕЛЯ:** 620049, г. Екатеринбург, ул. Мира, 23

Тел. главного редактора (343) 287-65-71. E-mail: [info@waterjournal.ru](mailto:info@waterjournal.ru), [www.waterjournal.ru](http://www.waterjournal.ru)

© ФГБУ РосНИИВХ

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук

The title is registered in the State Committee of the Russian Federation for Press on May 21, 1999. Registration Number 018825

The journal is issued since 1999 6 times a year.

**Address of the Publisher:** Ul. Mira, 23, Ekaterinburg 620049 Russia  
Chief Editor (343) 287-65-71. E-mail: [info@waterjournal.ru](mailto:info@waterjournal.ru), [www.waterjournal.ru](http://www.waterjournal.ru)

© FGBU RosNIIVKh

The journal is included into the List of the scientific journals and editions subject to peer-review where the main scientific outcomes of the thesis for academic degrees of doctors and candidates of sciences are to be published

Индекс / Index 39076

