

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

№ 4, 2024



# 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)

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

**Козлов Д.В.** профессор, д-р техн. наук, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (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)

**Федоров Ю.А.** д-р геогр. наук, профессор, Южный федеральный университет (Ростов-на-Дону, 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)

**Шмакова М.В.**, д-р геогр. наук, профессор, Институт озероведения РАН, (Санкт-Петербург, Россия)

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

### МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОВЕТ

**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

№ 4, 2024

ЕКАТЕРИНБУРГ  
YEKATERINBURG



## 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)

**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, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Moscow, Russia)

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

**Vladislav A. Rummyantsev**, 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)

**Yuri A. Fedorov**, Dr. Sc. (Geographical), Professor, Southern Federal University (Rostov-na-Donu, 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)

**Marina V. Shmakova**, Dr. Sc. (Geographical), Professor, Russian Academy of Sciences Institute of Limnology (St. Petersburg, Russia)

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

### INTERNATIONAL BOARD

**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

Тема номера. 55 лет развития отраслевой водохозяйственной науки.....5

---

### УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

---

Некоторые аспекты стратегического государственного планирования развития водохозяйственного комплекса <i>С.Д. Беляев</i> .....	15
К проблеме планирования и реализации противопаводковых мероприятий <i>А.В. Шаликовский, М.В. Болгов А.П. Лепихин</i> .....	25
Методология прогноза среднесрочного ущерба при экономическом обосновании мероприятий по защите от наводнений <i>А.В. Шаликовский, С.Г. Косарев, К.А. Курганович, М.А. Босов, А.В. Маслова, Е.Х. Зыкова, А.А. Солодухин, Д.В. Кочев</i> .....	43
Программно-целевой подход к решению водохозяйственных проблем Дальневосточного федерального округа <i>Н.Н. Бортин</i> .....	56
Разработка гидродинамической модели р. Вага для решения задач защиты населенных пунктов от затопления <i>С.А. Мирошниченко, А.И. Лучников, С.А. Лепешкин, А.А. Тиунов</i> .....	73

---

### ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

---

О методологии проведения реабилитации поверхностных водных объектов <i>А.Н. Попов</i> .....	87
Актуальные вопросы биоиндикации водных экосистем: российский опыт и перспективы <i>Т.Е. Павлюк</i> .....	108
Требования к оформлению материалов.....	127

---

## CONTENT

Topic of the issue: 55 years of development of the branch water/economic science.....5

---

### WATER RESOURCES MANAGEMENT

---

Some aspects of the water sector strategic state planning  
*S.D. Belyaev*.....15

On the problem of the flood control measures planning and implementing  
*A.V. Shalikovskiy, M.V. Bolgov, A.P. Lepikhin*.....25

Methodology for forecasting average long-term damage in the economic  
justification of flood protection measures  
*A.V. Shalikovskiy, S.G. Kosarev, K.A. Kurganovich, M.A. Bosov, A.V. Maslova,  
K.K. Zykova, A.A. Solodukhin, D.V. Kochev*.....43

Program-targeted approach to solution of water management problems  
of Far Eastern Federal District  
*N.N. Bortin*.....56

Development of a hydrodynamic model of the Vaga River  
to solve the problems of protecting settlements from flooding  
*S.A. Miroshnichenko, A.I. Luchnikov, S.A. Lepeshkin, A.A. Tiunov*.....73

---

### ECOLOGICAL ASPECTS OF WATER/ECONOMIC ACTIVITIES

---

About a methodology of the surface water bodies' rehabilitation  
*A.N. Popov*.....87

Topical issues of the aquatic ecosystems bio/indication:  
Russian experience and prospects  
*T.Y. Pavluk*.....108

Requirements to the material to be accepted.....127

## 55 лет развития отраслевой водохозяйственной науки

9 сентября 2024 года учредителю журнала «Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление» – ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» – исполняется 55 лет.

При подготовке статьи мы решили сосредоточиться не только на достижениях института (надеемся, что наши читатели имеют о них представление, в том числе и по статьям сотрудников), но и на общей оценке отраслевой науки сегодня, уточнении ее места в парадигме сегментов научной деятельности, роли отраслевого НИИ (как особой организационной структуры) в научно-технической сфере страны. На примере РосНИИВХ оценим специфику деятельности отраслевого НИИ в современных условиях. Считаем это принципиально важным аспектом, поскольку ключевая роль в подготовке узких специалистов, повышении эффективности послевузовского образования отведена именно отраслевым научно-исследовательским институтам. НИИ обеспечивают связь науки и производства, научных исследований и практической деятельности. Здесь продолжается профессиональная подготовка молодых производственных и научных кадров, здесь находит свое развитие отраслевая наука, связывающая академические и университетские исследования, разрабатываются инновации для ключевых отраслей экономики. В условиях меняющейся государственной политики в сфере научной деятельности на НИИ возложена особая ответственность государственного масштаба: воспроизводство высококвалифицированных производственных и научных кадров, развитие отраслевой науки, от которой во многом зависит поступательное движение экономики страны в целом.

### **Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов. Опыт работы**

ФГБУ РосНИИВХ – единственная научно-исследовательская организация в системе Росводресурсов. Институт образован Приказом Министра мелиорации и водного хозяйства РСФСР от 9 сентября 1969 года № 524. Сегодня в институте созданы все условия для достижения высоких научных и научно-практических результатов, подготовки высококвалифицированных научных и производственных кадров:

– На базе РосНИИВХ работает Центр повышения квалификации для специалистов водохозяйственного комплекса. Институт издает высокорейтинговый научный журнал, входящий в Перечень ВАК (К2), – «Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление». Научный коллектив РосНИИВХ регулярно проводит и выступает организатором научных конференций, в том числе и международного формата, направленных на широкое обсуждение новых идей и разработок.

– ФГБУ РосНИИВХ представлен в авторитетных международных организациях водников. Так, институт представляет Россию в Сети водохозяйственных организаций стран Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии (СВО ВЕКЦА). Специалисты института принимают участие в деятельности международных Комиссий по трансграничному сотрудничеству.

– Институт имеет разветвленную сеть филиалов, что существенно расширяет географию тематики и объектов научных исследований (Ростов-на-Дону, Екатеринбург, Пермь, Уфа, Чита, Владивосток, Москва, Волгоград).

Средний возраст сотрудников сегодня составляет 42,8 года, 81,9 % специалистов имеют профильное высшее профессиональное образование. Научные исследования ведут 16 докторов наук и 45 кандидатов наук.

Ежегодно РосНИИВХ представляет в Министерство науки и высшего образования Российской Федерации отчеты о научной, научно-организационной и финансово-хозяйственной деятельности, а также предложения о приоритетных направлениях развития водохозяйственной отрасли. По результатам их анализа институту присвоен статус «стабильно развивающейся научной организации, демонстрирующей удовлетворительную результативность».

Сегодня коллектив института – это творчески подходящая к решению поставленных задач профессиональная команда единомышленников. Многие годы научный коллектив РосНИИВХ занимается вопросами научно-технического, методического и информационного обеспечения деятельности Росводресурсов, решает актуальные водохозяйственные задачи, возникающие в процессе стратегического развития территорий и в целом водохозяйственного комплекса России. В числе ключевых направлений – цифровая трансформация отрасли, разработка правил использования водных ресурсов водохранилищ, обоснование принципов межгосударственного распределения стока трансграничных рек, мониторинг водных объектов, обоснование мероприятий по оздоровлению рек, схемы комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО). Так, к примеру, начиная с 2008 г. в институте разрабатывались СКИОВО для бассейнов Амура, Дона, Камы, Надыма, Оби, Пура, Таза, Урала. На всех речных бассейнах проведена работа по обобщению и анализу актуальных и ретроспективных данных по водопользованию, составлены актуальные и перспективные водохозяйственные балансы, выявлены ключевые проблемы и разработаны комплексы мероприятий по их решению.

Систематизация научных исследований по обеспечению развития водохозяйственного комплекса с учетом изменений климата и стратегии экономического развития, а также анализ современного состояния водохозяйственного комплекса определяют приоритетные направления деятельности научного коллектива РосНИИВХ. Например, по итогам работы в 2023 г. проведена доработка Правил использования водных ресурсов Верхней Кубани; подготовлены информационно-аналитические материалы по результатам ведения государственного водного реестра и осуществления государственного мониторинга водных объектов; дана экспертно-аналитическая оценка состава мероприятий в целях реализации дорожной карты по оздоровлению и развитию



водохозяйственного комплекса реки Дон; разработаны рекомендации по организации и проведению мониторинга берегов и водоохраных зон водных объектов с использованием беспилотных летательных аппаратов; представлены научно обоснованные принципы и механизмы межгосударственного распределения стока трансграничных рек между Российской Федерацией и Республикой Казахстан; выполнены работы по гидрографическому и водохозяйственному районированию территорий Донецкой Народной Республики, Луганской Народной Республики, Запорожской и Херсонской областей. Разработан комплекс противопаводковых мероприятий по защите населенных пунктов, расположенных в нижнем течении р. Печоры. Выполнен комплекс исследований по искусственному пополнению запасов подземных вод Республики Калмыкии, проведена оценка эффективности коррекции альгоценозов с помощью интродукции хлореллы.

С 2021 г. в Росводресурсах реализуется ведомственная программа цифровой трансформации, основным результатом мероприятий которой является разработка государственной информационной системы Цифровая платформа «Водные данные» (далее – ГИС ЦП Вода). Практически с первых дней специалисты РосНИИВХ принимают участие в ее создании, выступая заказчиком работ по отдельным сегментам платформы, а также разрабатывая ее самостоятельные части. Сегодня ГИС ЦП Вода, по сути являющаяся единой технологической платформой, объединяющей данные о водных объектах, их состоянии, использовании и охране, и обеспечивающая возможность оказания государственных услуг в сфере водных отношений в электронном виде, уже введена в эксплуатацию. Система успешно функционирует, ведутся работы по ее дальнейшему развитию:

- платформа становится единой точкой доступа для уполномоченных органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации при предоставлении водных объектов в пользование (реализация проекта «Моя вода»);
- развивается интеграционное взаимодействие с другими государственными информационными ресурсами в рамках межведомственного взаимодействия в части получения данных в ГИС ЦП Вода и предоставления сведений из системы;
- на основе методов статистического анализа, нейросетевого моделирования и искусственного интеллекта формируется аппарат для управления водными ресурсами.

Одним из перспективных направлений в области использования и охраны водных ресурсов также является внедрение методов нейросетевого моделирования для обработки больших объемов данных. В этом направлении специалисты РосНИИВХ работают над внедрением технологий нейросетевого моделирования при определении отдельных параметров водохозяйственного баланса бассейнов рек. В рамках данного перспективного направления по материалам дистанционного зондирования Земли с применением нейронных сетей осуществляется идентификация водоемов и их параметров для более точного расчета объемов дополнительного испарения с их поверхности. В связи с отсутствием единого источника достоверной информации

о количестве средних и мелководных водоемов, а также площади их зеркал, дополнительное испарение с поверхности по бассейнам рек рассчитывается по существенно усредненным справочным или устаревшим данным. Результаты обработки материалов дистанционного зондирования Земли с применением нейронных сетей позволяют сформировать единую базу данных по бассейнам рек Российской Федерации, трансграничным бассейнам и повысить точность расчетов водохозяйственных балансов.

В 2021 г. Министерство науки и высшего образования РФ запустило пилотный проект по созданию на территории регионов России карбоновых полигонов для разработки и испытаний технологий контроля углеродного баланса, который должен стать одним из ключевых элементов создания надежной национальной системы мониторинга потоков парниковых газов в экосистемах России. Карбоновые полигоны – участки территорий, используемые для разработки и испытаний технологий дистанционного и наземного контроля эмиссии парниковых газов и других значимых для изменения климата параметров и проведения исследований источников и поглотителей парниковых газов. Кроме того, на полигонах осуществляется подготовка кадров высшей квалификации в области новейших методов экологического контроля. Важным событием в 2024 г. для РосНИИВХ стало утверждение программы создания в Ростовской и Волгоградской областях первого межведомственного карбонового полигона Минобрнауки России и Федерального агентства водных ресурсов. На базе карбонового полигона «Цимлянское водохранилище» сотрудники института сконцентрируют внимание на мониторинге внутренних водных ресурсов Цимлянского водохранилища, изучении баланса углерода в антропогенно измененных экосистемах, что позволит разработать эффективные технологии контроля и управления процессами, регулирующими этот баланс.

Сегодня, оценивая достижения института, нельзя не отметить роль в его становлении и последующем развитии идейных вдохновителей и первых руководителей, наших ветеранов. У истоков создания РосНИИВХ стоял крупный ученый-водник, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ, почетный работник водного хозяйства России Александр Михайлович Черняев, ставший директором сначала УралНИИВХ, а впоследствии и РосНИИВХ (1969–1975 гг., 1988–2002 гг.). При его участии и руководстве были разработаны научные основы рационального использования, воспроизводства и охраны водных ресурсов, система оптимального управления водным хозяйством, концепция устойчивого водопользования. В период 1976–1984 гг. институт возглавлял д-р геогр. наук, профессор Иван Семенович Шахов, который вел большую работу по разработке комплекса методов по оценке расчетных гидрологических характеристик для водохозяйственного проектирования. С 2003 по 2020 гг. институтом руководила

д-р экон. наук, профессор, заслуженный эколог РФ Надежда Борисовна Прохорова. Ее научная деятельность была посвящена актуальным проблемам управления водным хозяйством, развитию эколого-экономического и правового механизмов функционирования государственных органов управления водохозяйственным комплексом страны.

Говоря о наших ветеранах, мы всегда вспоминаем Александра Николаевича Попова, под непосредственным руководством которого были выполнены исследования в области управления качеством поверхностных вод, защиты водных объектов от антропогенного воздействия, восстановления рек и водоемов; Сергея Дагобертовича Беляева, пришедшего в институт еще в статусе аспиранта и внесшего впоследствии существенный вклад в оценку качества воды поверхностных водных объектов с учетом территориальной дифференциации природной среды, стратегию развития водохозяйственного комплекса России; Анатолия Павловича Лепихина, долгие годы занимающегося вопросами математического моделирования гидрологических процессов, повышением устойчивости функционирования систем водопользования естественными и искусственными водными объектами; Николая Николаевича Бортина, бессменного руководителя Дальневосточного филиала ФГБУ РосНИИВХ и многих других ученых.

Благодаря неравнодушной позиции руководителей РосНИИВХ, ветеранов водной службы, а также всего коллектива института накоплен существенный опыт в сфере разработки и формирования концептуальных основ управления водными ресурсами, стратегии совершенствования системы управления водным хозяйством страны, внесен большой вклад в создание научной школы ученых-водохозяйственников.

### **Отраслевая наука как особый феномен**

РосНИИВХ в своем развитии прошел длинный и трудный путь, уже самым этим фактом проявив свою жизнеспособность. Институт «родился» в советский период, в эпоху, когда именно отраслевой сектор преобладал над другими научными сегментами (академическим, вузовским, заводским). В советскую эпоху формировалась модель отраслевой науки, при этом НИИ (как особая организационная структура) был вписан во все научные сектора: каждое министерство и ведомство, академическая, вузовская и отраслевая структуры имели достаточно развитые сети научно-исследовательских организаций, совместно работавшие над актуальными задачами экономического развития, что позволяло успешно продвигаться на многих направлениях техники и производства. Наука в Советском Союзе рассматривалась как мощная производительная сила, способствующая росту экономического благосостояния в стране, а научно-исследовательские учреждения, базировавшиеся на модели научного сопровождения производства и построенные по ведомственному прин-

ципу, становились ведущей организационной структурой, формирующей ландшафт прикладной науки.

Серьезные (подчас трагические) последствия повлек за собой период перестройки, когда отраслевой научный сектор оказался предоставлен самому себе. Менялся характер развития отраслевой науки, которая была вынуждена приспосабливаться к рыночным условиям, перейдя на хозрасчет и самофинансирование. Нарастали негативные тенденции и в оценке прикладной научной деятельности: повсеместно звучали обвинения в мелкотемье, недостаточной помощи производству, превращении поддержки отрасли в обслуживание органа, руководящего ею, и пр. В постсоветское десятилетие по инерции продолжилась деградация кадрового и научно-технического потенциала, снижалась доля финансирования науки, низкую оценку научной деятельности давал социум и др.

Через все это коллективу РосНИИВХ удалось пройти. Выстоял институт и в 2000-е годы, когда повсеместно закрывались научные организации, сокращался научный потенциал, финансирование науки, изымалась материально-техническая база<sup>1</sup>.

Отечественная отраслевая наука и научно-исследовательские структуры, в которых она развивается, всегда занимали и продолжают занимать особое место в парадигме научного знания как особого социокультурного феномена. Оптимальное соотношение академической, вузовской и отраслевой научной деятельности является стратегически важным фактором развития экономики страны, обеспечивает ее национальную безопасность. При этом значимая роль отводится именно отраслевой науке, способной применять накопленные академические знания и опыт «чистой науки» в практической деятельности, решении социально-экономических задач.

В последнее десятилетие вносятся существенные изменения в сфере научной политики, создаются новые организационные формы научных, научно-исследовательских организаций (институты развития, технологические платформы, инновационные территориальные кластеры и пр.). Издаются указы Президента, постановления правительства, принимаются многочисленные законодательные акты, направленные на улучшение общего состояния науки, режима ее функционирования. Общий положительный тренд из-

<sup>1</sup> Если в 2000 г. общее число отечественных научно-исследовательских организаций составляло 2 686, то к 2019 году их число уменьшилось до 1 618. См.: Наука России в 10 цифрах. <https://issek.hse.ru/news/442044357>.

В настоящее время по официальным данным в стране насчитывается около 1 000 НИИ, примерно половина из них осуществляет свою деятельность под научно-методическим руководством Российской академии наук и строится в соответствии с принципами, утвержденными постановлением Президиума РАН, остальные институты руководствуются ст. 5 «Научная организация и ее структурные подразделения» ФЗ от 23.08.1996 N 127-ФЗ (ред. от 24.07.2023) «О науке и государственной научно-технической политике». Самыми распространенными организациями в отраслевом сегменте науки, занимающимися научно-прикладными исследованиями и проводящими опытно-конструкторские разработки, остаются научно-исследовательские институты.

менения государственной политики обусловлен пониманием практической ценности научных исследований, увеличением масштабов деятельности государства, количества корпораций и усложнения их структур, всеобщей глобализацией, требующей специального знания специфики отдельных отраслевых, национальных и региональных рынков, появления новых отраслей, развитие которых подразумевает симбиоз научных знаний. При этом прикладная функция науки становится одной из ключевых. Однако при всех этих изменениях, востребованность и эффективность отечественной науки остаются недостаточными. Одной из главных «внешних» причин ее уязвимого положения остается все еще недостаточный уровень государственной поддержки, материально-технического оснащения. Если фундаментальная, вузовская наука в последние годы поддерживаются государством, то вопрос восстановления и сохранения научно-технического потенциала отраслевого сегмента отодвинут в тень. Сам термин «отраслевая наука» на официальном уровне практически не звучит. С недостаточным финансированием отраслевой науки взаимосвязаны и вопросы общей тенденции старения и нехватки кадров, а также восприятие научной деятельности в социуме.

Сегодня, стремясь выжить и сохранить научные кадры, помимо основных работ за счет бюджетного финансирования, НИИ зачастую выполняют хозяйственно-договорные работы, что оборачивается сокращением времени для научной деятельности. Проблемой финансирования обусловлен целый комплекс кадровых вопросов. Отсутствие притока молодых кадров, а также кадров соответствующей профессиональной подготовки ухудшает научный уровень институтов, увеличивает разрыв между поколениями, и, как следствие, – замедляет научный прогресс. К сожалению, кадровый провал, случившийся в 1990-е годы и лишивший отраслевую науку как минимум двух (а то и трех) поколений исследователей, до сих пор дает о себе знать.

Важной проблемой, требующей системного подхода в своем решении, остается оценка научной деятельности и личности ученого в обществе. В современной России наука – и как социальный институт, и как сообщество ученых – находится в совершенно иной социально-психологической парадигме оценок, нежели, к примеру, в советский период: сегодня наука – не самая заманчивая сфера деятельности для молодых квалифицированных специалистов. И это в то время, когда во всем постиндустриальном мире научная деятельность давно уже стала предметом пристального внимания общества, а создание условий для эффективной научной деятельности – прямой обязанностью и одной из главных функций государства.

Отраслевой науке сегодня не хватает подготовленных высшей школой специалистов. Связь между отраслевым и вузовским научными сегментами крайне слабо выражена, при подготовке научных кадров недостаточно учитываются потребности отрасли. Если говорить о водохозяйственной отрасли, в настоящее время в России есть отдельные кафедры, факультеты, институты при вузах, где идет подготовка специалистов-водников высшей квалификации, но нет вуза, который бы готовил водохозяйственников высшей категории.

Подчеркнем – наука водохозяйственной отрасли развивается именно в научно-исследовательских, проектных институтах<sup>2</sup>.

Сегодня перед водным хозяйством, как комплексной областью научных знаний, стоят сложнейшие задачи. Как их решать, как готовить научные высококвалифицированные кадры, если водное хозяйство идет по разделу сельскохозяйственных наук и включено в специальность 4.1.5 мелиорация, водное хозяйство, агрофизика? Ведь исследования РосНИИВХ и других институтов по водохозяйственной тематике чаще всего не связаны с сельским хозяйством: речь идет о защите территорий от негативного воздействия вод, оценке и регламентации антропогенного влияния на водные объекты и т. д. Возникает вопрос: где и по какой специальности наши специалисты могут защищать диссертации? Эта проблема требует незамедлительного решения, от которого напрямую зависит повышение уровня научных кадров в отрасли.

Сегодня перед НИИ стоит сложная задача: необходимо привлечь новые кадры, «дорастить» их на базе отраслевых НИИ, поскольку академическая и вузовская наука не дают необходимых для производства и отрасли специализированных знаний. Но как поддержать специалистов при недостаточном финансовом, ресурсном, техническом обеспечении? Вот вопрос, который встает перед администрациями учреждений, лицами, принимающими решения.

### Несколько слов о научном издании отраслевого института

Одной из важнейших точек развития для научной организации является издание научного журнала, отражающего ключевые результаты исследований не только организации-учредителя, но и самой отрасли. Выпуск отраслевым

<sup>2</sup> К примеру, водохозяйственное образование можно получить в Московском государственном университете им. М. В. Ломоносова на кафедре гидрологии суши при географическом факультете; Институте гидрологии и океанологии Российского государственного гидрометеорологического университета (Санкт-Петербург); в Иркутском государственном университете на кафедре гидрологии и природопользования; кафедре гидрологии и охраны водных ресурсов Пермского государственного национального исследовательского университета; Башкирском государственном университете на кафедре гидрологии и геоэкологии; Омском государственном аграрном университете им. П.А. Столыпина на факультете агрохимии, почвоведения, экологии, природообустройства и водопользования. В апреле 2023 года Крымский федеральный университет объявил о начале новой магистерской образовательной программы, направленной на подготовку специалистов в области рационального использования и охраны водных биологических ресурсов. Программа под названием «Экологические биотехнологии и аквакультура» предназначена для развития у студентов профессиональных компетенций в области мониторинга водных биологических ресурсов, среды их обитания и управления ими.

К ведущим водохозяйственным научным организациям России относятся: Институт водных проблем РАН (Москва), ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова» (Москва); ФГБУ «Информационно-аналитический центр развития водохозяйственного комплекса» (Москва); ФГБУ «Государственный гидрологический институт» (Санкт-Петербург); АО «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники имени Б.Е. Веденеева» (Санкт-Петербург); ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (Ростов-на-Дону); ФГБУН «Байкальский институт природопользования» (Улан-Удэ); Институт экологии Волжского бассейна РАН (Тольятти); Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения РАН (Барнаул); ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (Новочеркасск), многие из которых имеют научные издательства, на своих площадках проводят научные конференции, симпозиумы, форумы.

НИИ своего периодического научного издания и публикация результатов исследований специалистов организации мы оцениваем исключительно в положительном аспекте, полагая, что издание научного журнала способствует не только популяризации научного знания, но и является своеобразной заявкой НИИ, указанием на готовность вступить в открытый научный диалог, сохранить традиции отраслевой науки.

Полагаем, что издание отраслевых научно-практических журналов может отстаивать интересы отраслевой науки, сделает ее более видимой в потоке научной информации при условии включения в публикационный (и исследовательский) диалог изданий смежных тематик. Активизация публикационной продуктивности сотрудников НИИ, выявление и анализ ведущих исследовательских тем и направлений повысят уровень привлекательности отечественной отраслевой науки, включит ее в научно-исследовательский контекст. Для продвижения исследований и разработок на отечественном (и мировом) уровне, развития отраслевой науки необходимо, прежде всего:

- ориентировать сотрудников на активную публикацию результатов исследований;
- сотрудникам НИИ формировать коллаборации с ведущими российскими и зарубежными учеными или исследовательскими группами для проведения совместных исследований, что привлечет дополнительное внимание научного сообщества к исследованиям института;
- опираться на фундаментальные теоретические исследования, регулярно проводить научное изучение практических запросов и насущных отраслевых проблем;
- издательствам и редакциям размещать выпускаемое издание на различных платформах (базах цитирования, научных электронных библиотеках, архивах и пр.) открытого доступа для продвижения результатов исследований в научное сообщество.

Уверены, что сегодня научно-исследовательские структуры должны опережать текущее развитие отраслевой науки, сложившейся в ней системы подготовки научно-производственных кадров, предвидеть потребности отрасли на краткосрочную и длительную перспективы. Интеграция в парадигму актуальных вызовов современности и исследовательских направлений позволит избежать определенной ограниченности отраслевых научно-исследовательских институтов.

### **Вместо послесловия**

Решение задачи государственной важности – сохранение научного потенциала страны и воспроизводство научных кадров, подготовка квалифицированных специалистов для водной отрасли – накладывает на отраслевую науку обязанность пересмотреть сложившуюся систему работы, ее научную результативность. В современных условиях коллектив РосНИИВХ стремится менять акценты в своей деятельности, искать новые, востребованные време-

нем и водохозяйственным комплексом реперные точки развития. В качестве таких реперов сегодня для нас выступают:

1. Поиск новых тем для исследований как регионального характера (что позволит НИИ реализовывать практические цели, непосредственно для решения которых они и были созданы), так и учитывающих мировые тренды, отвечающие вызовам времени. В этом отношении полезным представляется обращение к обзорным документам открытого доступа, базам цитирования<sup>3</sup>;
2. Подготовка структурным подразделением РосНИИВХ – Центр повышения квалификации кадров водохозяйственного комплекса – новых кадров; в перспективе – открытие при ФГБУ РосНИИВХ аспирантуры по специальности 1.6.16 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия, 1.6.21 – Геоэкология;
3. Расширение сотрудничества между отраслевыми организациями смежных направлений (не должно быть «окукливания» в рамках конкретной отраслевой науки/организации/коллектива ученых);
4. Более активный международный диалог, сотрудничество между организациями разных стран в рамках соответствующих договорных отношений (позволяющее, в том числе, оценить национальную самобытность русской науки);
5. Интеграция и взаимодействие всех научных секторов (в частности, взаимосвязь с вузовской наукой должна быть максимально плотной).

Главным для института, как и все прошедшие 55 лет, остается работа на приоритетных научных направлениях развития водохозяйственного комплекса России и реализация конкурентных преимуществ отраслевой водохозяйственной науки.

В предлагаемом номере журнала представлены научные исследования коллектива ФГБУ РосНИИВХ, направленные на решение актуальных проблем водного хозяйства.

**А.Е. Косолапов,**  
**директор ФГБУ РосНИИВХ, главный редактор журнала**  
**«Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление»**

<sup>3</sup>Выбор тем является отдельной задачей. Темы для исследований в прикладных НИИ, как правило, междисциплинарные, требуют привлечения к исследовательской работе специалистов узких профилей – гидротехнического строительства, мелиорации, гидрогеологии, сельского и лесного хозяйства, жилищно-коммунального хозяйства и др. Сегодня это должны быть темы, достойные внимания науки (в том числе и фундаментальной), которые невозможно разрешить в ходе исключительно практической работы.



## Некоторые аспекты стратегического государственного планирования развития водохозяйственного комплекса

С.Д. Беляев  

 belyaev@wrm.ru

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

### АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** В настоящее время идет подготовка очередного документа стратегического планирования в сфере развития водохозяйственного комплекса России. В статью представлены предложения по аспектам стратегического планирования, касающимся состояния водных ресурсов и водообеспечения. **Методы и результаты.** На основе проведенного ранее анализа реализации Водной стратегии 2020, передовой российской и международной практики даны рекомендации по формулировке одной из целей Водной стратегии, принципам и механизмам ее достижения, а также перечень задач, требующих решения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** водохозяйственный комплекс, стратегия, принципы, качество воды, доступные объемы воды.

**Для цитирования:** Беляев С.Д. Некоторые аспекты стратегического государственного планирования развития водохозяйственного комплекса // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2024. № 4. С. 15–24. DOI:10.35567/19994508-2024-4-15-24.

Дата поступления 20.06.2024.

## Some aspects of the strategic state planning of the water sector

Sergey D. Belyaev  

 belyaev@wrm.ru

Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection Ural Branch, Ekaterinburg, Russia

### ABSTRACT

**Relevance.** At present preparation of the next strategic planning document, concerning development of the water sector of Russia is in the process. The article contains proposals on some aspects of strategic planning in the sphere of water resources state and water supply. **Methods and Results.** Based on the previously conducted analysis of the Water Strategy-2000 implementation and the best advanced Russian and world practice we have given recommendations on formulating of one of the Water Strategy objectives, principles and mechanisms of its attaining, as well as the list of tasks that need solution.

**Keywords:** water sector, strategy, principles, water quality, available water volumes.

**For citation:** Belayev S.D. Some aspects of the water sector strategic state planning. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2024. No. 4. P. 15–24. DOI:10.35567/19994508-2024-4-15-24.

Received 20.06.2024.

## ВВЕДЕНИЕ

Анализ документов государственного стратегического планирования в сфере управления водохозяйственным комплексом Российской Федерации (ВХК)<sup>1</sup> и результатов их реализации [1] показал, что уровень достижения изначальных<sup>2</sup> целевых показателей невысок. Причины этого можно разделить на две группы: «внешние» (экономическая конъюнктура и т. п.) и «внутренние» (недостатки в системах целеполагания и организации исполнения).

Для повышения устойчивости отраслевого стратегического планирования к внешним факторам необходимо предусмотреть процедуры корректировки, которые обеспечивали бы обоснованные изменения, прежде всего, сроков достижения поставленных целей. Изменение собственно целей (целевых индикаторов, показателей) должно быть строго регламентировано и обусловлено лишь существенными изменениями характеристик объектов управления (включая вновь выявленные сведения) или механизмов управления. В противном случае наблюдается, в определенном смысле, дискредитация целей и самих документов стратегического планирования.

Устранение внутренних факторов – полностью отраслевая компетенция. Как было показано в работе [1], цели и целевые показатели зачастую не имеют достаточной научно-методической и информационной базы. Целевые показатели должны иметь однозначную трактовку, регламентированные инструменты оценки (включая источники данных, способы расчетов/измерения), ясную связь с общими «ожидаемыми результатами реализации» документа стратегического планирования.

## МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Можно выделить следующие основные направления работ по устранению названных внутренних факторов:

- научно-методическое обеспечение целеполагания, т. е. установления перечня и значений целевых показателей развития ВХК, а также механизмов контроля их достижения;
- разработка формализованных механизмов определения приоритетных направлений деятельности для достижения установленных целевых показате-

<sup>1</sup> Распоряжение Правительства РФ от 27.08.2009 №1235-р «Об утверждении Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года». Режим доступа: <http://www.consultant.ru> (дата обращения 19.06.2024). Федеральная целевая программа «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012 - 2020 годах». Утв. Постановлением Правительства РФ от 19.04.2012, № 350. Режим доступа: <http://www.consultant.ru> (дата обращения 19.06.2024).

<sup>2</sup> Целевые показатели ФЦП «Вода России 2020» корректировались ежегодно.

телей по речным бассейнам (на основе объективных факторов, таких, например, как вклад конкретного источника загрязнения в расход загрязняющего вещества в контрольном створе и пр.);

- обеспечение взаимообусловленности документов стратегического и долгосрочного планирования по уровню (федеральный, региональный, бассейновый), срокам реализации и результатам;
- обеспечение разделения ответственности за достижение установленных целей и целевых показателей между различными уровнями управления;
- утверждение регламента, детально описывающего обоснование необходимости и процедуру корректировки документов стратегического и долгосрочного планирования ВХК.

Остановимся подробнее на важнейшем аспекте стратегического планирования – ресурсном.

В Водной стратегии 2020, в числе прочих, были сформулированы такие стратегические цели:

- гарантированное обеспечение водными ресурсами населения и отраслей экономики;
- сохранение и восстановление водных объектов до состояния, обеспечивающего экологически благоприятные условия жизни.

Опираясь на проведенный ранее анализ [1], предлагаем заменить их на одну:

- поддержание баланса между потребностями социально-экономического развития и возможностями воспроизводства водных ресурсов надлежащего качества в объемах и режимах, обеспечивающих экологическое благополучие в настоящее время и в будущем.

Такая формулировка позволяет избежать выявленных неопределенностей и противоречий, инвариантна по отношению к меняющимся объемам водопотребления, требованиям к качеству воды и характеристикам экологического благополучия, в большей степени соответствует существу решаемых на государственном уровне стратегических задач в этой жизненно важной сфере.

Обозначенная стратегическая цель имеет два взаимосвязанных аспекта: количество и качество воды. Оба аспекта равно важны как для удовлетворения потребностей в воде, как ресурсе развития, так и для обеспечения благоприятной окружающей среды.

### **Определение доступных к изъятию объемов воды**

В настоящее время доступные к изъятию из поверхностных водных объектов суши объемы воды регламентируются двумя параметрами: нормативами допустимого воздействия<sup>3</sup> (НДВ безвозвратного изъятия водных ресурсов – НДВ<sub>из</sub>) и лимитами забора воды и сброса сточных вод (утверждаются в соста-

<sup>3</sup> Приказ МПР РФ от 12.12.2007 № 328 «Об утверждении Методических указаний по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты» (Зарег. в Минюсте РФ 23.01.2008 N 10974). Режим доступа: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 18.06.2023).

ве Схем комплексного использования и охраны водных ресурсов – СКИОВО)<sup>4</sup>. Анализ результатов разработки и реализации этих документов выявил, с одной стороны, пробелы в методическом обеспечении, с другой – некоторую избыточность и отсутствие однозначной взаимосвязи между лимитами и  $НДВ_{из}$  [2, 4].

Ключевым инструментом в определении доступных к изъятию объемов воды является так называемый экологический сток (экологический попуск для регулируемых водных объектов), т. е. такой минимальный объем стока (в контрольном створе), который обеспечивает «нормальное функционирование экологических систем водных объектов и околководных экологических систем»<sup>2</sup>.

Расчет водохозяйственных балансов, лимитов забора/сброса воды в водные объекты в рамках СКИОВО с учетом требования соблюдения экологического стока решает задачу определения доступных к изъятию объемов воды (в пределах водохозяйственных участков – ВХУ, подбассейнов и речных бассейнов).

$НДВ_{из}$  также устанавливается в виде объемов допустимого изъятия водных ресурсов по водохозяйственным участкам за год. Таким образом, наблюдается некоторая «избыточность». В то же время действующей нормативной правовой и методической базы оказалось недостаточно как для однозначного и единообразного установления значений экологического стока,  $НДВ_{из}$ , лимитов/квот, так и для установления взаимосвязи между  $НДВ_{из}$  и лимитами [3].

В рамках дальнейшего развития системы управления необходимо:

- уточнить определение термина «экологический сток (попуск)»;
- включить экологический сток в число нормативов качества окружающей среды (в применении к гидрологическим характеристикам водных объектов как важным параметрам состояния окружающей среды), с внесением соответствующих поправок в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и другие нормативные правовые документы;
- разработать и утвердить методики расчета и применения экологического стока (попуска): при этом методика должна опираться на имеющиеся информационные ресурсы (например, представлять варианты расчета при наличии и отсутствии представительных рядов гидробиологических наблюдений и т. п.);
- уточнить взаимосвязи между лимитами и  $НДВ_{из}$  (возможно, упразднить  $НДВ_{из}$ , как избыточный).

С организационно-правовой точки зрения при оценке допустимости изъятия воды из поверхностных водных объектов необходимо четко определить функции исполнительных и контрольно-надзорных органов и применимость тех или иных нормативных правовых актов. В соответствии с действующим Водным кодексом детализация лимитов и  $НДВ$  устанавливаются на уровне ВХУ. Это, в частности, означает, что в рамках установленных значений лимитов экологические и прочие требования к стоку будут соблюдаться в замыкающем ВХУ створе. Это не гарантирует соблюдения означенных требований

<sup>4</sup> Водный кодекс Российской Федерации от 3.06.2006г. № 74-ФЗ. Режим доступа: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 19.06.2024).

на любом створе внутри ВХУ. Таким образом, соблюдение лимитов является необходимым, но недостаточным условием для принятия решения о допустимости деятельности, связанной с забором воды в конкретном створе. Такое решение принимается компетентными органами на основе законодательства об охране окружающей среды.

Еще один вопрос, требующий, как показала практика, углубленной методической проработки, – учет забора подземных вод и его влияния на поверхностный сток при расчете водохозяйственных балансов. Неверные оценки ущерба поверхностному стоку от забора подземных вод могут привести как к неоправданным ограничениям, так и к фактическому нарушению экологического стока при соблюдении установленных лимитов забора/сброса воды. А учет в водохозяйственном балансе всех эксплуатационных запасов подземных вод (не говоря о разведанных), без оценки экономической целесообразности доставки их потребителю, может привести к существенному завышению приходной части баланса.

Формулировка целевого показателя, соответствующего этой части стратегической цели, может быть такой: «обеспечение экологического стока/попуска: отсутствие дефицита водохозяйственного баланса на всех водохозяйственных участках для расчетных условий обеспеченности по водности».

### **Оценка качества воды и определение приоритетов водоохранной деятельности**

Обобщение российского и международного опыта [5–7] позволяет предложить следующую последовательность действий по решению проблем качества воды:

1. Снижение антропогенного воздействия на водные объекты на основе технологического нормирования (наилучшие доступные технологии – НДТ).
2. Определение ограниченного перечня показателей качества воды поверхностных водных объектов, подлежащих обязательному контролю.
3. Установление критериев для выбора дополнительных контролируемых показателей качества воды.
4. Установление целевых значений контролируемых показателей качества воды по участкам речных бассейнов с учетом природных и неустраняемых антропогенных факторов формирования стока (нормативы качества воды – НКВ, целевые показатели качества воды – ЦПКВ, критерии соответствия наблюдаемых показателей качества воды – НКВ/ЦПКВ).
5. Определение вклада антропогенных источников загрязнения (точечных и диффузных) в отклонении наблюдаемых показателей качества воды от целевых значений.
6. Определение приоритетов водоохранной деятельности по участкам речных бассейнов (на основе результатов по п. 5).

7. Государственная поддержка программ водоохранных мероприятий, направленных на решение приоритетных проблем, государственная поддержка разработки новейших технологий, принятие дополнительных мер по достижению НКВ/ЦПКВ (если НДТ не дает достаточного эффекта).

В российской практике все перечисленное уже присутствует, однако взаимосвязь и взаимообусловленность этих направлений деятельности недостаточно прояснены, не все они обеспечены методически. Например, НКВ до сих пор не учитывают природного фона, несмотря на известное Постановление Правительства<sup>5</sup> (за исключением НКВ по нескольким веществам для трех участков в Мурманской области, одного участка в Приморском крае и одного – в Карелии<sup>6</sup>). Не определена связь между целевым состоянием водных объектов (ЦПКВ) и результатами применения технологических нормативов (ТН), основанных на показателях НДТ, между ЦПКВ и НКВ.

К решению проблемы связи ЦПКВ с технологическим нормированием возможно, по меньшей мере, два подхода:

- определять ЦПКВ с учетом прогнозных показателей качества воды после соблюдения нормативов всеми объектами, оказывающими негативное воздействие на окружающую среду (объекты ОНВ) по участкам речных бассейнов;

- определять ЦПКВ исключительно на основе НКВ (при отсутствии НКВ – на основе утвержденной методики, обеспечивающей учет природных особенностей формирования качества воды – природный фон) и стимулировать внедрение технологий «лучше НДТ» в случае, когда соблюдение ТН не позволяет достичь ЦПКВ.

Первый подход, назовем его технологическим, при всей «естественности», имеет два существенных изъяна. Во-первых, точность прогнозов качества воды поверхностных водных объектов невелика. Следовательно, причиной недостижения ЦПКВ могут быть ошибки при их расчете и в этом случае ЦПКВ теряют смысл «контрольного ориентира». Достижение показателей ТН будет единственной объективной и измеримой целью. А качество воды в одном объекте – «какое получится». Во-вторых, возможности улучшения состояния водных объектов, на которых присутствуют объекты ОНВ I (II) катего-

<sup>5</sup> Постановление Правительства РФ от 13.02.2019 № 149 «О разработке, установлении и пересмотре нормативов качества окружающей среды для химических и физических показателей состояния окружающей среды, а также об утверждении нормативных документов в области охраны окружающей среды, устанавливающих технологические показатели наилучших доступных технологий» (вместе с «Положением о разработке, установлении и пересмотре нормативов качества окружающей среды для химических и физических показателей состояния окружающей среды»). Режим доступа: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 19.06.2024).

<sup>6</sup> Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 N 552 (ред. от 22.08.2023) «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (зарег. в Минюсте России 13.01.2017 № 45203).

рии ограничиваются показателями технологий, используемых на российских предприятиях (как минимум – двух) на момент выпуска соответствующих Справочников НДТ<sup>7</sup>. Достижение технологических нормативов абсолютно не гарантирует соблюдения НКВ, т. е. (по определению НКВ<sup>6</sup>) не будет обеспечена «благоприятная окружающая среда». Побудительным мотивом к дальнейшему совершенствованию технологий может стать лишь невозможность соблюдения НДС «новым» объектом ОНВ – в этом случае ему будет отказано в выдаче комплексного экологического разрешения (КЭР)<sup>6</sup>.

Но и тут действующая система может привести к парадоксальной ситуации. Представим себе водный объект, качество воды в котором не соответствует НКВ (напомним, действующие НКВ до сих пор не учитывают природных особенностей). В этот водный объект осуществляет сброс сточных вод действующее предприятие I категории. Его показатели не соответствуют ТН. В рамках закона, на время достижения ТН в соответствии с утвержденной программой повышения экологической эффективности (7–14 лет), предприятию согласован временно разрешенный сброс (ВРС), который может существенно превосходить показатели ТН. Приходит «новый» водопользователь с тем же видом производства и самыми передовыми технологиями, обеспечивающими существенно меньший сброс загрязняющих веществ, чем по показателям НДТ. При этом расчетные требования НДС (по маркерным веществам) не удовлетворяются. В соответствии с законом новый водопользователь получает мотивированный отказ в выдаче КЭР. Какой у него выход? Например, искать «более чистый» водный объект, дабы появилась возможность удовлетворить требованиям НДС. Но, во-первых, такая возможность не всегда имеется в числе экономически приемлемых вариантов, во-вторых, на «чистом» водном объекте можно будет обойтись и менее продвинутой технологией с показателями, соответствующими справочникам НДТ.

Как видим, и потребность, и возможности внедрения новых «более чистых» технологий весьма ограничены, а, значит, и поводов для корректировки справочников НДТ будет не много.

Второй подход, назовем его «целевой», позволяет интегрировать технологическое нормирование, которое используется как инструмент поэтапного достижения ЦПКВ. На первом этапе водопользователям ставится задача достижения показателей ТН. Но при этом они осведомлены о том, что, если ЦПКВ (в контрольном створе) не будут достигнуты на первом этапе, то их достижение будет обязательным на следующем этапе (этапах). Это и есть действенный стимул к развитию технологий. Разумное сочетание сроков реализации названных этапов, предпочтений и санкций, наряду с регламентированной про-

<sup>7</sup> Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды». Режим доступа: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 19.06.2024).

цедурой корректировки ЦПКВ, позволит обеспечить поэтапное достижение целевого состояния водных объектов.

Представленные выше семь пунктов являются, по сути, описанием целевого подхода, который постепенно укореняется на всех континентах. В России нормативно-методическое обеспечение имеется только по п. 1, частично – по пунктам 2 и 3 из семи вышперечисленных. Необходимо в кратчайшие сроки разработать и утвердить нормативно-методические документы, обеспечивающие реализацию всех направлений.

Другой важнейшей задачей является установление значений НКВ (по согласованному перечню), обусловленных природными условиями формирования стока (природный фон). После утверждения соответствующего методического обеспечения такая работа должна быть проведена по всей территории России (по участкам речных бассейнов со сходными природными условиями формирования качества поверхностных вод). Учитывая неотложность и государственную важность задачи, финансирование работ должно осуществляться централизованно из федерального бюджета.

На основе изложенного, предлагается такая формулировка целевого показателя, связанного со вторым аспектом предлагаемой стратегической цели развития водохозяйственного комплекса: «обеспечение нормативного качества воды: соответствие на контрольных створах государственной наблюдательной сети требованиям к показателям качества воды, установленным с учетом природных и неустраняемых антропогенных факторов»<sup>8</sup>.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для дальнейшего целенаправленного, поступательного развития водохозяйственного комплекса России необходимо разработать и утвердить новый документ государственного стратегического планирования. В нем должны быть обозначены научно обоснованные цели, принципы и механизмы реализации государственной политики в этой жизненно важной сфере.

Опыт реализации Водной стратегии 2020, кроме очевидных достижений, выявил ряд нерешенных вопросов и пробелов, которых следует избежать в новой версии документа.

На основе проведенного ранее анализа результатов реализации Водной стратегии–2020 и зарубежного опыта в представленной работе приведены предложения по формулировке одной из стратегических целей – ресурсной, по соответствующим целевым показателям а также принципам и механизмам их достижения. Отличия от формулировок, приведенных в Водной стратегии 2020, представлены в таблице.

<sup>8</sup> Стратегическая цель – 100 %. В новой версии Водной стратегии может быть указана обоснованная доля от общего числа створов государственной наблюдательной сети.



**Таблица.** Сопоставление предлагаемых формулировок с приведенными в Водной стратегии 2020  
Table. Comparison of the proposed formulations with those included into Water Strategy-2000

Водная стратегия 2020	Предложение
<b>Стратегическая цель</b>	
Гарантированное обеспечение водными ресурсами населения и отраслей экономики.	Поддержание баланса между потребностями социально-экономического развития и возможностями воспроизводства водных ресурсов надлежащего качества в объемах и режимах, обеспечивающих экологическое благополучие в настоящее время и в будущем.
Сохранение и восстановление водных объектов до состояния, обеспечивающего экологически благоприятные условия жизни.	
<b>Целевые показатели</b>	
Гарантированное обеспечение в объеме до 107 км <sup>3</sup> в год.	Обеспечение экологического стока/попуска: отсутствие дефицита водохозяйственного баланса на всех водохозяйственных участках для расчетных условий обеспеченности по водности.
Удельная водоемкость ВВП Российской Федерации – 1,4 м <sup>3</sup> /тыс. рублей (в ценах 2007 года; снижение на 42 %).	
Потери при транспортировке – 5 % от общего объема забора (изъятия) водных ресурсов из природных источников (снижение вдвое).	
Доля ВХУ, качество воды в которых оценивается как «условно чистая» или «слабо загрязненная» – 40 %.	Обеспечение нормативного качества воды: соответствие требованиям к показателям качества воды, установленным с учетом природных и неустраняемых антропогенных факторов, не менее, чем на хх % контрольных створов государственной наблюдательной сети.
Доля загрязненных сточных вод в общем объеме отводимых в водные объекты сточных вод, подлежащих очистке – 36 % (снижение в 2,5 раза).	
Объем организованного сброса загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты – 6,6 млн тонн (снижение на 40 %).	

*Примечание:* целевые показатели Водной стратегии 2020 приведены в первоначальной редакции; хх % – от 50 % до 100 %, подлежит обсуждению.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляев С.Д. Водная стратегия 2020: цели и результаты // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2022. № 1. С. 5–24. DOI: 10.35567/19994508\_2022\_1\_1.
2. Мерзликина Ю.Б., Крутикова К.В., Морозова Е.Е., Прохорова Н.Б. Об оценке результатов деятельности по реализации Водной стратегии Российской Федерации до 2020 года // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2016. № 6. С. 4–14. DOI: 10.35567/1999-4508-2016-6.

3. Беляев С.Д. Регулирование изъятия водных ресурсов: проблемы и решения. Часть 1. НДС // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2022. № 3. С. 5-20. DOI: 10.35567/19994508\_2022\_3\_1.
4. Беляев С.Д. Регулирование изъятия водных ресурсов: проблемы и решения. Часть 2. Лимиты и квоты // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2023. № 2. С. 6-22. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_2\_1.
5. Беляев С. Д. Технологические нормативы и целевые показатели качества поверхностных вод // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2015. № 6. С. 18–36. DOI: 10.35567/1999-4508-2015-6-2.
6. Беляев С. Д. К вопросу учета пространственной дифференциации природной среды при планировании водоохраных мероприятий // Географический вестник = Geographical bulletin. 2017. № 4 (43). С. 81–96. DOI: 10.17072/2079-7877-2017-4-81-96.
7. Беляев С.Д., Прохорова Н.Б. Проблемы целеполагания при государственном планировании водоохраных мероприятий в речных бассейнах // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2019. № 4. С. 12–31. DOI: 10.35567/1999-4508-2019-4-1.

### REFERENCES

1. Belyaev S.D. Water strategy-2020: objectives and results. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2022. No. 1. P. 5–24. DOI: 10.35567/19994508\_2022\_1\_1.
2. Merzlikina Y.B., Krutikova K.V., Morozova E.E., Prokhorova N.B. About assessment of results of implementation of the Russian Federation Water Strategy up to 2020. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2016. No. 6. P. 4–14. DOI: 10,35567/1999-4508-2016-6.
3. Belyaev S.D. Regulation of the water resources withdrawal: problems and solutions. Part 1. NPI. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2022. No. 3. С. 5-20. DOI: 10.35567/19994508\_2022\_3\_1.
4. Belyaev S.D. Regulation of the water resources withdrawal: problems and solutions. Part 2. Limits and quotas. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2023. No. 2. P. 6-22. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_2\_1.
5. Belyaev S.D. Technological norms and objectives of the surface water quality. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2015. No. 6. P. 18–36. DOI: 10.35567/1999-4508-2015-6-2.
6. Belyaev S.D. On the issue of accounting of the natural environment spatial differentiation in the planning of water-protective measures. *Geografik vestnik [Geographical bulletin]*. 2017. No. 4 (43). P 81–96. DOI: 10.17072/2079-7877-2017-4-81-96.
7. Belyaev S.D., Prokhorova N.B. Problems of goal-setting in the state planning of water-protective measures in river basins. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2019. No. 4. P. 12–31. DOI: 10.35567/1999-4508-2019-4-1.

#### Сведения об авторе:

**Беляев Сергей Дагобертович**, д-р геогр. наук, канд. техн. наук, и. о. заместителя директора по научной работе, Уральский филиал, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Мира, 23; ORCID: 0000-0002-2277-4694; e-mail: belyaev@wrm.ru

#### About the author:

**Sergey D. Belyaev**, Doctor of Geographical Sciences, Candidate of Technical Sciences, Acting Deputy Director for Academic Activities of Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection Ural Branch; ul. Mira, 23, Ekaterinburg, 620049, Russia; ORCID: 0000-0002-2277-4694; e-mail: belyaev@wrm.ru

## К проблеме планирования и реализации противопаводковых мероприятий

А.В. Шаликовский<sup>1</sup>  , М.В. Болгов<sup>2</sup> , А.П. Лепихин<sup>3,4</sup> 

 [vostokniivh@mail.ru](mailto:vostokniivh@mail.ru)

<sup>1</sup> ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Восточный филиал, г. Чита, Россия

<sup>2</sup> ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук», Москва, Россия

<sup>3</sup> ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал, г. Пермь, Россия

<sup>4</sup> Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, г. Пермь, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** Чрезвычайные ситуации последних лет, вызванные наводнениями, заставляют задуматься о достаточности и адекватности осуществляемых превентивных технических мероприятий, направленных на защиту территорий от затопления. В сложившихся условиях акцент должен сместиться от борьбы с естественными гидрологическими процессами к комплексу мер, направленных на устранение причин возникновения ущерба от наводнений. **Методы.** В основе предлагаемого подхода лежит анализ действующего законодательства и международного опыта интегрированного управления различными аспектами наводнений. **Результаты.** Представленное видение решения рассматриваемой проблемы основано на необходимости применения оптимизированного комплекса административных, экономических, инженерно-технических и информационных мер, направленных на снижение факторов риска и предотвращение роста ущерба от наводнений в будущем. Сформулированы предложения по решению первоочередных вопросов правового регулирования и охарактеризованы подходы к корректному обоснованию превентивных мероприятий и оценки их эффективности.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** речные поймы, наводнения, опасность наводнений, ущерб от наводнений, управление риском наводнений.

**Для цитирования:** Шаликовский А.В., Болгов М.В., Лепихин А.П. К проблеме планирования и реализации противопаводковых мероприятий // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2024. № 4. С. 25–42. DOI:10.35567/19994508-2024-4-25-42.

Дата поступления 10.06.2024.

### ON THE PROBLEM OF THE FLOOD CONTROL MEASURES PLANNING AND IMPLEMENTING

Andrei V. Shalikovskiy<sup>1</sup>  , Mikhail V. Bolgov<sup>2</sup> , Anatoly P. Lepikhin<sup>3,4</sup> 

 [vostokniivh@mail.ru](mailto:vostokniivh@mail.ru)

<sup>1</sup>Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection Eastern Branch, Chita, Russia

<sup>2</sup>Water Problems Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection Kama Branch, Perm, Russia

<sup>4</sup>Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

© Шаликовский А.В., Болгов М.В., Лепихин А.П., 2024

## ABSTRACT

**Relevance.** Emergencies in recent years caused by floods make us to think about the sufficiency and adequacy of the preventive technical measures taken to protect territories from flooding. In the current conditions, the emphasis should shift from the fight against natural hydrological processes to a set of measures aimed at eliminating the causes of flood-caused damage increasing.

**Methods.** The proposed approach is based on an analysis of current legislation and international experience in integrated management of various aspects of floods. **Results.** The presented vision for solving the problem under consideration is based on the need to apply an optimized set of administrative, economic, engineering and information measures aimed at reducing risk factors and preventing the growth of damage from floods in future. The work provides specific proposals for solving priority problems of legal regulation and describes approaches to the proper reasoning of preventive measures and assessment of their effectiveness.

**Keywords:** river floodplains, floods, flood hazard, flood damage, flood risk management

**For citation:** Shalikovskiy A.V., Bolgov M.V., Lepikhin A.P. On the problem of the flood control measures planning and implementing. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2024. No.4. P. 25–42. DOI:10.35567/19994508-2024-4-25-42.

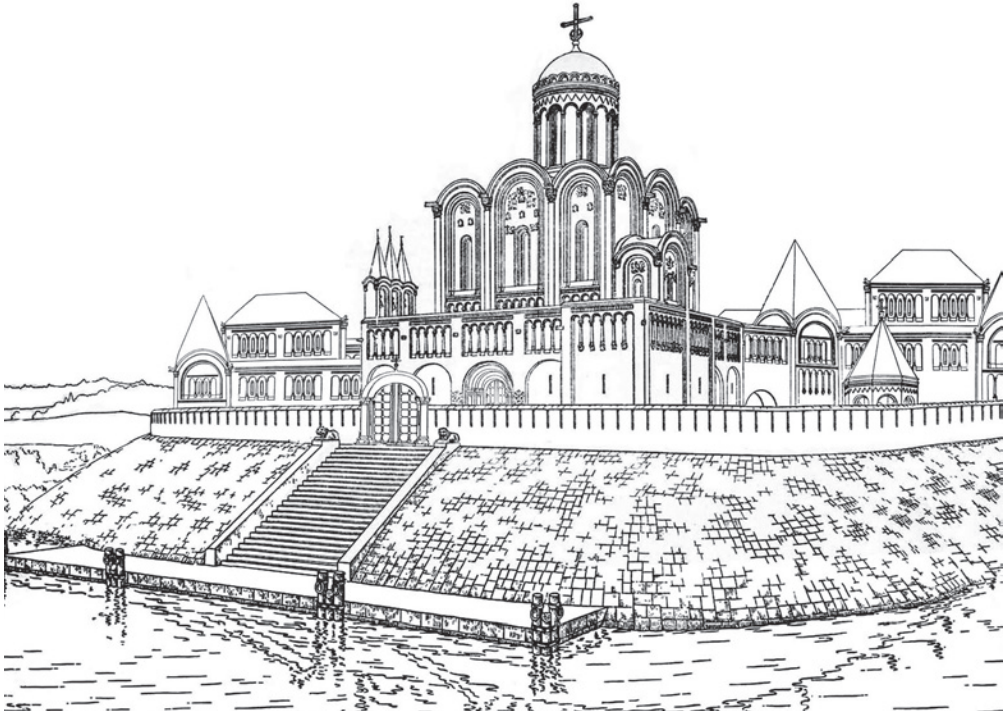
Received 10.06.2024.

## ВВЕДЕНИЕ

Наблюдаемые в нашей стране чрезвычайные ситуации, связанные с прохождением паводков, заставляют задуматься о корректности самих принципов и механизмов проведения противопаводковых мероприятий. Парадокс сложившейся ситуации заключается в том, что в отличие от других стихийных бедствий современные гидрологические расчеты в совокупности с методами математического моделирования позволяют с допустимой погрешностью заблаговременно определить масштабы затопления. Но значительная часть населения полагает, что проживание в речных поймах более предпочтительно по сравнению с потенциальной угрозой затопления, в случае которого «доброе государство» поможет.

При этом масштабные наводнения в городах Ленск (2001 г.), Крымск (2012 г.), Тулун (2019 г.), Орск (2024 г.) представляются некоторыми частными случаями по сравнению с построенной в ежегодно затопляемой пойме шедевре древнерусского зодчества – церковью Покрова на Нерли, которая за почти 900 лет ни разу не подвергалась затоплению, т. к. на самом деле была возведена на искусственном холме (рис. 1).

Формирование эффективной системы защиты от наводнений должно базироваться на методологии управления рисками, предусматривающей не только меры по защите территорий от затопления, но и разнообразные мероприятия, направленные на снижение ущерба. Несмотря на то, что концепция управления рисками наводнений получила широкое признание во всем мире, реализация ее подходов представляет значительные трудности и предполагает необходимость принятия сложных компромиссных решений [2]. Так, в Европейском Союзе, где действует единая «Директива по оценке и управлению



**Рис. 1.** Первоначальный вид церкви Покрова и Покровского монастыря на Нерли [1].  
Fig. 1. Initial view of the Church of the Intercession and the Intercession Monastery on the Nerl River [1].

рисками наводнений»<sup>1</sup>, роль управленческих механизмов в разных странах существенно различается [3]. Данная проблема актуальна и для России – в условиях формирования наводнений различного генезиса имеется возможность разработки обобщенной модели управления, а конкретные механизмы ее реализации должны учитывать специфические условия конкретных территорий.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Специфической чертой территории Российской Федерации является вероятность формирования наводнений всех возможных типов, включая такие экзотические виды, как затопление участков суши волной цунами, вулканическими грязевыми потоками, волной прорыва горных озер и др. В рамках данной работы рассматриваются только речные наводнения в результате дождевых паводков и весеннего половодья, для защиты от которых в России традиционно используются инженерные методы. В настоящее время существует достаточно широкий перечень таких методов, которые могут существенно различаться как по средствам реализации, так и по стоимостным показателям. Различные подходы к выбору и обоснованию защитных мероприятий рассмотрены в работах [4–7 и др.].

В то же время в России применяется крайне узкий набор инструментов из числа существующих методов управления риском наводнений. Кроме техни-

<sup>1</sup>Directive 2007/60/EC on the assessment and management of flood risks. European Parliament. October 23, 2007. Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2007/60/oj> (дата обращения: 10.05.2024).

ческой защиты от затопления к ним можно отнести не имеющий аналогов в мировой практике полный запрет на строительство в зонах затопления, введенный после масштабного наводнения на Дальнем Востоке в 2013 г.

В западных странах комплексный механизм защиты от наводнений начали создавать в середине XX в., постепенно он сформировался в форме «управление риском наводнений», о широком применении которого свидетельствует освещение различных аспектов этого подхода в сотнях руководств и монографий, десятков тысяч статей, в т. ч. в специализированном научном журнале с одноименным названием «Journal of Flood Risk Management». В настоящее время общий процесс «выявление риска – оценка риска – управление риском» в разных странах имеет свои особенности. Например, в США приоритетом является установление ограничений в зонах риска затопления и экономическое стимулирование их выполнения<sup>2</sup>, в странах ЕС – восстановление русловой емкости рек за счет ликвидации ранее построенных дамб [8], в Великобритании – восстановление болот и компенсация снижения инфильтрации на урбанизированных территориях<sup>3</sup>. При разнообразии подходов основным определяющим этапом является скрупулезное детальное зонирование паводкоопасных территорий, а отмеченные приоритеты применяются в совокупности с другими методами.

Предлагаемый ниже подход к интегрированным механизмам защиты от наводнений основан на анализе опыта различных стран с учетом специфических условий территорий Российской Федерации.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На наш взгляд, в основе выбора противопаводковых мероприятий для конкретного объекта должен лежать сопряженный оптимизированный комплекс, включающий следующие аспекты:

- нормативно-правовые и административные;
- экономические;
- мониторинговые, информационные;
- инженерно-технические.

При этом:

- административные, нормативно-правовые меры представляют совокупность правовых норм, устанавливающих как обязательные, так и рекомендательные требования к различным аспектам управления рисками наводнений, в первую очередь – к хозяйственному использованию паводкоопасных территорий;
- экономические методы должны обеспечивать экономическую оценку уровня риска наводнения и воздействия на его величину планируемых мероприятий, выступать в качестве мер негативной и позитивной мотивации исполнения административных требований, создавать условия для аккумуляции средств для ликвидации последствий наводнений;

<sup>2</sup> Flood Insurance Manual: April 2024. Режим доступа: [https://www.fema.gov/sites/default/files/documents/fema\\_april-2024-nfip-flood-insurance-manual.pdf](https://www.fema.gov/sites/default/files/documents/fema_april-2024-nfip-flood-insurance-manual.pdf), (дата обращения: 13.05.2024).

<sup>3</sup> Thames River Basin District Flood Risk Management Plan 2021 to 2027. Режим доступа: <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/6380a45d8fa8f56ea9d462d8/Thames-FRMP-2021-2027.pdf>, (дата обращения: 10.05.2024).

– инженерно-технические мероприятия предназначены для обеспечения физической защиты территорий от затопления и ликвидации последствий наводнений;

– информационные методы, к которым относятся мониторинг, моделирование, осведомление населения и т. д., направлены на возможность эффективной реализации мероприятий других групп.

Рассмотрим более подробно данные аспекты.

### Административные меры

Ограничения строительства на территориях, подверженных угрозе наводнений, устанавливались в России неоднократно, начиная с XVIII в., но конкретные требования были введены в 1950–1960-х годах (СН 41-58, СНиП II-К.2-62, СНиП II-М.1-62). В качестве примера в табл. 1 представлены требования из СНиП II-К.2-62<sup>4</sup>, которые определяли ограничения для размещения зданий и сооружений различного назначения в зависимости от природных условий.

**Таблица 1.** Характеристика природных условий территорий по степени пригодности для строительства (фрагмент)<sup>4</sup>

Table 1. Characteristics of the natural conditions of territories according to the degree of suitability for construction (fragment)<sup>4</sup>

Природные условия	Степень пригодности территорий		
	пригодные	ограниченно пригодные	непригодные
Затопляемость: а) для жилищного и общественного строительства	Незатопляемые паводками 1 % обеспеченности.	Затопляемые более чем на 0,5 м паводками 1 % обеспеченности и незатопляемые паводками от 1 до 4 % обеспеченности.	Затопляемые более чем на 0,5 м паводками 4 % обеспеченности.
б) для промышленного и сельскохозяйственного производственного строительства	Незатопляемые паводками 1 % обеспеченности для предприятий большого экономического и оборонного значения; для остальных предприятий – 2 % обеспеченности; для предприятий с коротким сроком эксплуатации (10–15 лет) – 10 % обеспеченности.	Затопляемые более чем на 0,5 м паводками, указанными в графе для пригодных территорий, требующие проведения экономически целесообразных мероприятий по инженерной подготовке территорий.	Затопляемые паводками более частой повторяемости.

<sup>4</sup> СНиП II-К.2-62. Планировка и застройка населенных мест. Нормы проектирования. М. Стройиздат. 1967. 72 с.

В дальнейшем требования к размещению производственных объектов стали более строгими, т. к. была установлена необходимость превышения планировочных отметок не менее чем 0,5 м над уровнем расчетной обеспеченности «с учетом подпора и уклона водотока, а также нагона от расчетной высоты волны»<sup>5</sup>. В то же время требования к отметкам местности для размещения жилых и общественных зданий были фактически отменены в середине 1970-х годов, а впоследствии застройка стала допускаться при глубине затопления до 1,5 м<sup>6</sup>.

После наводнения на Дальнем Востоке 2013 г. Водный кодекс РФ был экстренно дополнен статьей 67.1 «Предотвращение негативного воздействия вод и ликвидация его последствий», которая установила необходимость определения зон затопления и подтопления, а также ввела безоговорочный запрет на строительство капитальных объектов, «не обеспеченных сооружениями и (или) методами инженерной защиты», что является самым «жестким» ограничением в мировой практике. Требования к этим зонам и процедуры их установления определены Постановлением Правительства РФ от 18 апреля 2014 г. № 360<sup>7</sup>. Однако при этом не были учтены нормы правоприменения, что позволило отменить ограничения, установленные генеральными планами поселений, и «легализовать» десятки тысяч объектов недвижимости в зонах затопления.

Теория риска определяет, что попытки снижения риска путем его «исключения» запретительными мерами всегда порождают риски иного рода. В данном случае – формирование риска социальной напряженности, вызванной отказом государства от ранее принятых решений. Уже сейчас массовые иски привели к признанию Верховным судом РФ допустимости строительства жилых домов на затопляемых территориях с последующими требованиями к государству осуществить меры по предотвращению негативного воздействия вод<sup>8</sup>.

При разработке и реализации правовых норм следует учитывать сложившиеся обязательства государства перед жителями пойм и возможность ограниченного безопасного использования паводкоопасных территорий (табл. 2).

<sup>5</sup> СП 18.13330.2019. Производственные объекты. Планировочная организация земельного участка (Генеральные планы промышленных предприятий). М.: Стандартинформ, 2020. Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/57421/>, (дата обращения 19.05.2024).

<sup>6</sup> СП 42.13330.2011. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89\*. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200084712>, (дата обращения 19.05.2024).

<sup>7</sup> Постановление Правительства РФ от 18.04.2014 № 360 (ред. от 17.08.2022) «О зонах затопления, подтопления» (вместе с «Положением о зонах затопления, подтопления»). Режим доступа: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_162041/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_162041/), (дата обращения 19.05.2024).

<sup>8</sup> Кассационное определение судебной коллегии по административным делам Верховного Суда РФ от 1 марта 2023 г. № 49-КАД22-11-К6. Режим доступа: <https://base.garant.ru/406557305/>, (дата обращения 11.05.2024).



**Таблица 2.** Вопросы административного регулирования, требующие первоочередного решения

Table 2. Problems of administrative regulation requiring priority solutions

Вопросы правового регулирования	Предлагаемые варианты решения
Полный запрет на строительство объектов капитального строительства нереализуем, т. к. отдельные сооружения функционально предполагают контакт с водой.	Ввести исключение для объектов, которым по условиям эксплуатации допускается затопление.
Массовая застройка защищенных дамбами территорий приводит к возрастанию потенциального ущерба.	Ввести норму, не допускающую строительство на территориях, затапливаемых при авариях защитных сооружений на глубину 1,5 м и более.
Продолжается застройка участков, попадающих под действие «дачной амнистии».	Исключить зоны затопления из действия «дачной амнистии» или ввести норму, предполагающую документальное подтверждение строительства дома до 14 мая 1998 г.
Собственники недвижимости не вправе произвести реконструкцию, направленную на повышение устойчивости здания к затоплению.	Установить допустимые параметры реконструкции объектов недвижимости в зонах затопления, в т. ч. к замене строительных и отделочных материалов, подъему уровня пола, закреплению конструкций и т. д.
Не установлены нормы проектирования зданий и сооружений, при которых их можно считать защищенными от затопления.	Разработать нормативы, при соблюдении которых допускается строительство в границах зон затопления: требования к планировочным отметкам, высоте свай, подводу коммуникаций и др.
Субъективность установления границ затопления.	Разработать «Методические указания по определению границ затопления».

**Экономический механизм**

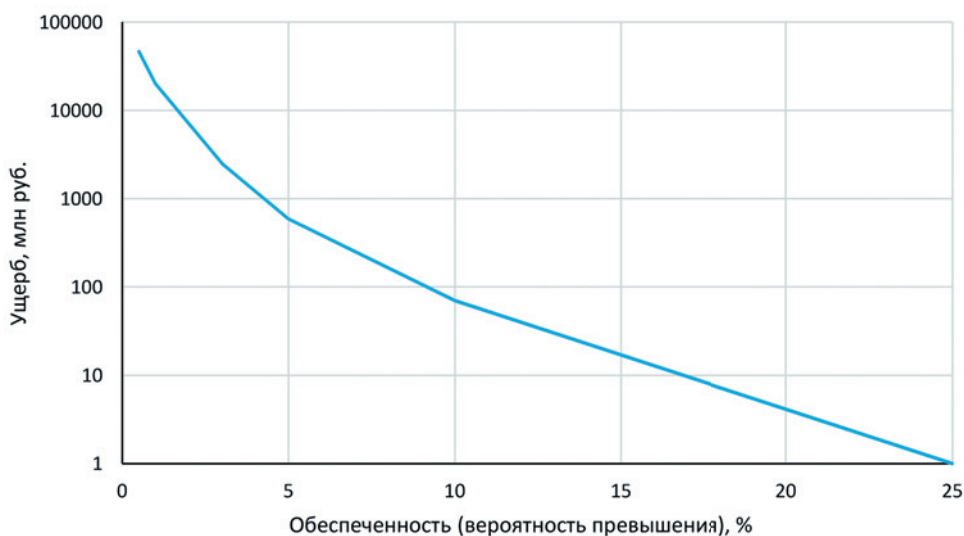
Экономические методы играют ключевую роль в механизмах управления риском наводнений, т. к. объективная оценка экономических показателей должна лежать в основе выбора методов защиты. Только глубокий экономический анализ позволяет оценить реальные тенденции изменения уровня риска наводнений и эффективности принимаемых решений.

Действующие в Российской Федерации методы оценки ущерба от наводнений и определения экономической эффективности защитных мероприятий зачастую дают необъективные результаты. Например, экономический эффект от строительства защитных сооружений в России за последние годы многократно превысил ущерб от наводнений, что свидетельствует о значительном завышении величины предотвращаемого ущерба, определяемого в проектной документации.

Для объективной экономической оценки следует понимать, что риск является количественной характеристикой опасности, «сочетающей вероятность возникновения чрезвычайной ситуации и ее последствия», а величина риска определяется «как математическое ожидание случайной величины материального ущерба от чрезвычайной ситуации на рассматриваемой территории за год»<sup>9</sup>. Применительно к наводнениям не следует отождествлять понятия «вероятность» и «обеспеченность», поэтому при вычислении математического ожидания ущерба следует пользоваться формулой [9]:

$$M(Y) = \sum_i \frac{(y_i + y_{i+1})}{2} \cdot \frac{|p_i - p_{i+1}|}{100\%}, \quad (1)$$

где  $Y_i$  – разовый ущерб от наводнения обеспеченностью  $p_i$  (рис. 2).



**Рис. 2.** Графическая интерпретация процедуры вычисления математического ожидания ущерба от наводнений.

Fig. 2. Graphic interpretation of the procedure for calculating the mathematical expectation of flood damage.

<sup>9</sup>ГОСТ Р 55059-2012. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Термины и определения. М.: Стандартинформ. 2018. 8 с.

Использование данного подхода позволяет оценить величину риска наводнений по статистическим данным на территории России (табл. 3), в субъектах РФ и речных бассейнах, а на основании зонирования и анализа застройки – для локальных территорий. Эти же показатели должны являться и основными индикаторами эффективности принимаемых мер по управлению риском наводнений.

**Таблица 3.** Экспертные оценки прямого ущерба от наводнений в Российской Федерации (в ценах 2024 г.)

Table 3. Expert estimates of direct damage from floods in the Russian Federation (in the 2024 prices)

Показатель	Значение, млрд руб.
Математическое ожидание ущерба	67
Ущерб повторяемостью 1 раз в 10 лет	166
Ущерб повторяемостью 1 раз в 20 лет	276
Ущерб повторяемостью 1 раз в 100 лет	540

Важным экономическим механизмом также является система возмещения ущерба от негативного воздействия вод, которая должна мотивировать исполнение административных требований и не порождать иждивенческих настроений.

В последние годы были существенно уточнены правила предоставления различных видов помощи при чрезвычайных ситуациях, которые направлены на стимулирование добровольного страхования. Однако подавляющая часть населения полагает, что государство обязано полностью компенсировать все их потери от затопления, мотивируя это тем, что при каждом масштабном наводнении вводятся определенные послабления. В результате население не заинтересовано в страховании, страховые выплаты по итогам серии наводнений 2024 г., вряд ли, превысят планку в 1–2 % от общего ущерба. При этом наблюдаются противоречивые тенденции: граждане, застраховавшие свое имущество, не удовлетворены размерами страховых выплат, которые в среднем оказались ниже, чем государственная помощь, а не застраховавшие недвижимость, наивно полагая, жалеют, что получили бы и помощь от государства, и страховку. Еще в более сложной ситуации оказались некоторые жители г. Орска, заключившие ипотечное страхование: они должны делать выбор между выплатами по ипотечному страхованию, выплатами по страхованию гражданской ответственности за причинение вреда в результате аварии защитной дамбы и государственной помощью. При строгом следовании законодательству наличие ипотечного кредита не позволяет претендовать на государственную помощь, а для страховых выплат нужно доказать, в результате чего произошло затопление – половодья или разрушения дамбы. Следует отметить, что дамба в

Орске была застрахована в рамках обязательного страхования гражданской ответственности за причинение вреда в результате аварии гидротехнического сооружения на 187,5 млн руб., что многократно меньше, чем фактический ущерб от затопления «защищенной» территории города.

Еще в 2018 г. приняты поправки в ряд федеральных законов, направленных на добровольное страхование жилья от чрезвычайных ситуаций, но до настоящего времени результаты их действия отсутствуют. Наводнения 2024 г. побудили законодателей к срочной доработке правовой базы. Однако сама концепция системы страхования от ЧС предполагает «размывание» страховых тарифов между гражданами независимо от уровня риска, что гарантирует малую востребованность такой системы в связи с наличием интереса к страхованию только у собственников наиболее подверженной затоплению недвижимости. Выход из сложившейся ситуации видится в применении тарифов, отражающих уровень риска при соответствующем зонировании паводкоопасных территорий [10, 11].

Кроме отмеченных основных нерешенных экономических проблем следует обозначить и другие актуальные вопросы:

- при выделении регионам финансовых средств из федерального бюджета на реализацию противопаводковых мероприятий не учитываются показатели эффективности эксплуатации ранее построенных сооружений: уровень организации системы эксплуатации, финансирование эксплуатационных расходов, обеспеченность защитных сооружений декларациями безопасности, наличие договоров страхования гражданской ответственности собственников защитных сооружений;

- условия страхования гражданской ответственности за причинение вреда в результате аварии гидротехнического сооружения должны, с одной стороны, гарантировать компенсацию ущерба, с другой – стимулировать меры по предотвращению роста величины остаточного риска. В настоящее время страховая сумма, как правило, устанавливается в многократно меньшем размере, чем возможный ущерб при аварии сооружений и не учитывает застройку «защищенной» территории новыми зданиями и сооружениями.

### **Инженерно-технические мероприятия**

Технические мероприятия, направленные на защиту территорий и объектов от затопления, можно условно разделить на активные и пассивные (рис. 3). Активные мероприятия направлены на снижение экстремальных гидрологических параметров (расходов и уровней), пассивные – на уменьшение негативных последствий прохождения максимальных расходов воды [5, 7].

Следует особо отметить, что при установлении параметров защитных мероприятий ключевым, как правило, является экстремальный уровень воды, который определяется на основании априорной уверенности в наличии устойчивой однозначной связи между расходом и уровнем. Как показывает анализ волн прохождения паводков и проведение их гидродинамического моделирования, имеет место гистерезис («паводочная петля») [12], масштаб которого определяется интенсивностью изменения расхода воды. Этот эффект может

быть весьма значительным при быстром нарастании расхода воды паводков (рис. 4). Для оценки масштабов данного эффекта необходимо проведение гидродинамического моделирования прохождения волн паводков с учетом интенсивности нарастания расходов воды. Учет таких эффектов особенно важен в случаях, если защищаемые объекты располагаются ниже плотин водохранилищ, как это было в г. Орске, одним из факторов затопления которого в апреле 2024 г. стало резкое возрастание сбросных расходов через гидроузел Ириклинского водохранилища.



Рис. 3. Общая схема мероприятий по защите территории от затопления [5, 7].  
Fig. 1. The scheme of measures intended to protect the territory against flooding [5, 7].

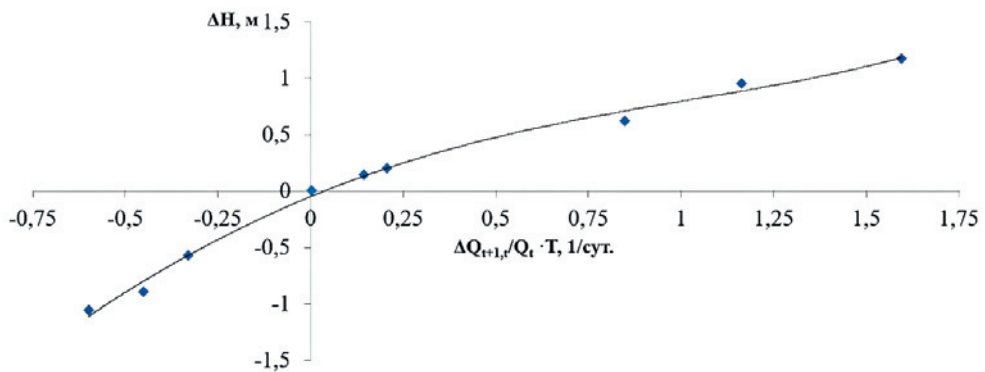


Рис 4. Превышение уровня воды в реке над стационарным в зависимости от интенсивности изменения расходов воды (результаты численного моделирования р. Кама – п. Тюлькино).

Fig. 4. Excess of water level in the river over the stationary level depending on the intensity of changes in water flow (results of numerical modeling of the Kama River – Tyulkino village).

Ключевым вопросом при планировании инженерных противопаводковых мероприятий является оценка их эффективности, под которой обычно понимают величину предотвращенного ущерба относительно стоимости реализации мероприятий и текущих затрат на обеспечение безаварийной эксплуатации. При этом обычно исходят из принципа однокомпонентности – наиболее экономически эффективным является какое-либо одно мероприятие, обеспечивающее с минимальными затратами защиту территории с требуемым уровнем надежности на всем ожидаемом диапазоне колебаний расходов рассматриваемого водотока. Ограниченность данного подхода наиболее очевидна при использовании дамб для защиты территорий от затопления.

С позиции теории риска строительство защитных сооружений является мерой, направленной на снижение вероятности затопления, т. к. они обеспечивают безопасность защищаемой территории только до определенных уровней воды. Поэтому при застройке «защищенных» территорий эффект «низкая вероятность затопления с тяжелыми последствиями» с течением времени дает более высокое значение математического ожидания ущерба, чем «высокая вероятность затопления с незначительными или некритичными последствиями» при отсутствии защитных сооружений. В связи с этим значительная доля ущерба от наводнений как в мире, так и в России приходится именно на затопление в результате разрушения защитных дамб.

Кроме неконтролируемой застройки «защищенных» территорий возрастанию риска способствуют многие обстоятельства [13], основными из которых являются следующие:

- дамбы, особенно при двухстороннем расположении, значительно стесняют речной поток, приводя к повышению уровней воды по сравнению с бытовыми условиями. В случае аварии глубина затопления одамбованной территории значительно возрастает. С целью недопущения такого эффекта в ряде стран установлен предельный норматив повышения расчетного уровня при строительстве защитных дамб (в США – 0,3 м при паводке 1 % обеспеченности [14]);

- отсечение дамбами больших пойменных массивов приводит к снижению функции руслового регулирования стока и к возрастанию расходов и риска наводнений на нижележащих участках речного русла. Данный эффект, в основном, проявляется в условиях ливневых паводков;

- строительство защитных дамб сопровождается широким спектром негативных экологических последствий.

Следует отметить, что действующие нормативные документы устанавливают обязанность учета подпора дамбами, ветрового нагона и наката волн, но позволяют игнорировать другие факторы. Например, по нашим оценкам, дополнительный подпор от мостовых переходов в Орске составил около 1,2 м, что послужило одной из причин разрушения защитных дамб. Современные гидродинамические модели позволяют максимально полно и корректно оценить последствия создания дамб, однако они редко используются при проектировании защитных сооружений. На наш взгляд, необходимо

проведение соответствующих расчетов и для ранее одамбованных участков рек для подтверждения соответствия параметров сооружений нормативным требованиям.

Более 2000 лет назад Цзя Ранг подал китайскому императору предложения, основанные на принципе «Не боритесь против воды» [15]:

- лучший метод: затопление наименее населенных местностей;
- второй метод: строительство каналов для отведения паводковых вод;
- наименее рекомендуемый метод: строительство дамб.

«Лучший» из перечисленных методов малоприменим для условий России, т. к. направлен на использование больших площадей одамбованных сельскохозяйственных земель для регулирования стока путем их затопления при катастрофических паводках. Очевидно, что на реках с весенним половодьем эффекта от такого затопления ожидать не стоит, но для широкопойменных рек в ряде случаев очевидна принципиальная возможность использования емкости пойм для срезки максимальных расходов дождевых паводков [16].

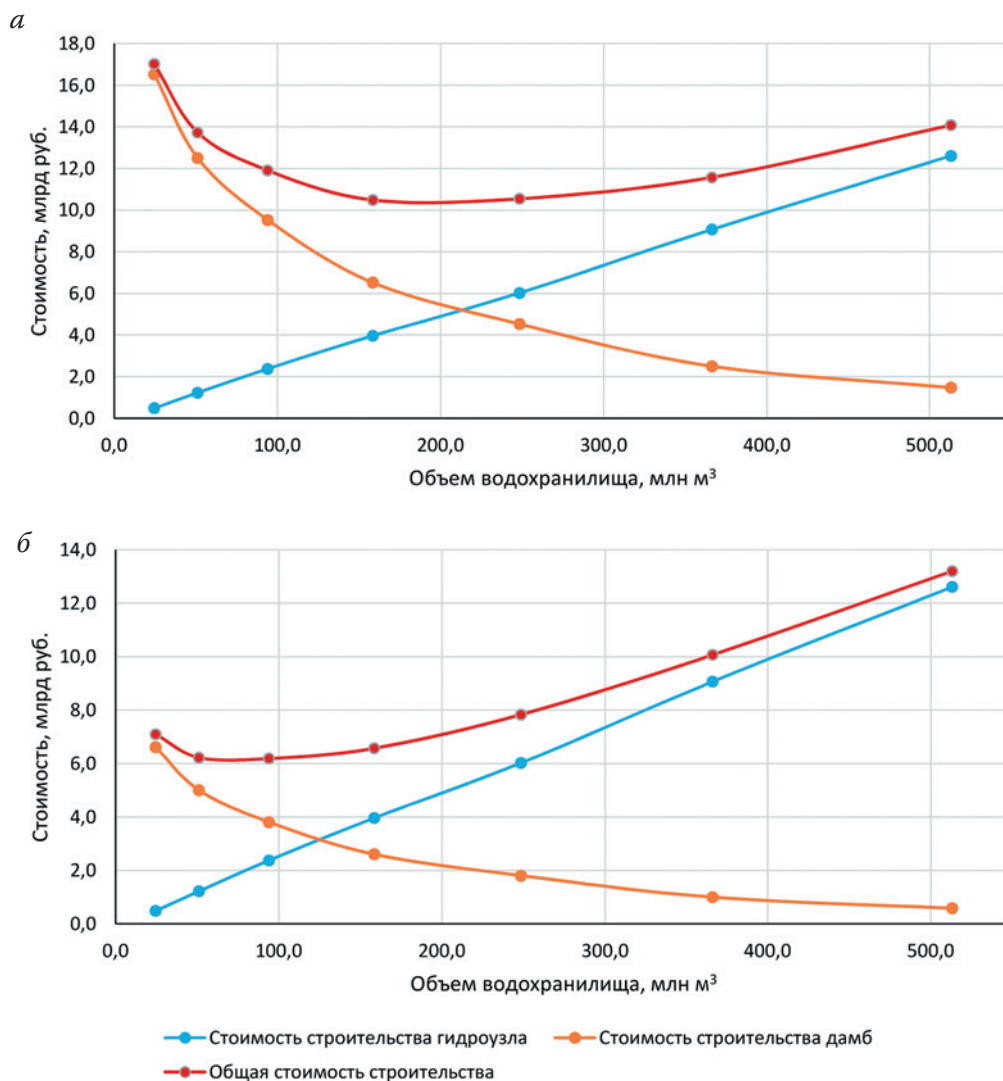
Таким образом, строительство дамб следует рассматривать как вынужденную меру в отношении защиты только существующих зданий и сооружений. При этом в современных условиях вполне эффективным может быть полиили, по крайней мере, бикомпонентный подход, сочетающий строительство защитных дамб с другими активными или пассивными противопаводковыми мероприятиями [5, 7]. На рис. 5 представлен пример поиска оптимального соотношения регулирования стока при использовании двухкомпонентного варианта защиты – определение объема противопаводкового водохранилища, соответствующего минимуму суммарных затрат на строительство гидроузла и защитных дамб.

### **Информационные методы**

Первым информационным методом, связанным с наводнениями, является фиксация наивысших уровней воды. В Древнем Египте и Китае отметки паводков в ряде случаев измерялись в целях планирования, но большинство таких исторических маркеров, сохранившихся во многих странах мира, являлись предупреждением потомкам. В России обязанность отмечать уровни наводнений неоднократно вводилась, но редко исполнялась, а установленные маркеры со временем пропадали. Ряд сведений о прямых или косвенных указаниях на максимальные уровни приводится Б.Д. Зайковым [17] в много-томном издании описания русских рек<sup>10</sup> и в ряде других источников. В дальнейшем организация регулярного гидрологического мониторинга позволила создать необходимые базы данных, на статистической обработке которых основываются все мероприятия по защите от наводнений, включая установление границ зон затопления.

В состав мониторинга входят гидрологические прогнозы, основанные на моделировании, которое, в свою очередь, должно применяться также при решении других организационных, экономических и инженерных задач.

<sup>10</sup> Материалы для описания русских рек и истории улучшения их судоходных условий. Сведения о мостах на водных путях Российской Империи. Вып. 40. СПб., 1913. 364 с.



**Рис. 5.** Пример поиска оптимального соотношения регулирования стока и строительства защитных дамб: *а* – вариант при отсутствии ранее построенных защитных сооружений; *б* – вариант с учетом ранее построенных защитных дамб.

Fig. 5. An example of searching for the optimal relationship between flow regulation and the construction of dikes: *a* – option in the absence of previously built dikes; *b* – option taking into account previously built dikes.

Из анализа задач информационного обеспечения напрашивается вопрос о необходимости создания общей информационной платформы, объединяющей базы данных и результаты моделирования на основе единых подходов. Безусловно, это очень сложная межведомственная задача, для решения которой требуется выработка единых подходов и проведение эксперимента на небольшом участке речного бассейна.



В условиях климатических изменений краеугольным камнем информационного обеспечения должен стать единый подход к определению значений экстремальных гидрологических характеристик. Например, расчетные гидрологические характеристики при проектировании защитных сооружений и установлении границ зон затопления могут существенно отличаться. В первом случае анализ должен производиться для всего гидрологического ряда<sup>11</sup>, а во втором – за последние 100 лет<sup>7</sup>. Поэтому при длине ряда более 100 лет гидрологический параметр 1 % обеспеченности для целей проектирования будет меньше наблюдаемого максимума, а для целей зонирования – равен максимальному значению в случае, если оно наблюдалось в последние 100 лет, если ранее – максимум будет проигнорирован.

Предложенный еще в начале XX в. статистический подход до настоящего времени является основным инструментом оценки экстремальных гидрологических событий. Первые серьезные успехи в оценке экстремальных гидрологических событий на основе данной концепции породили определенную эйфорию: «методы теории вероятности позволяют при наличии сравнительно коротких рядов в 20–50 лет определять такие явления, которые возможны раз в 100 или 1000 лет» [18]. Представление о стационарности гидрологических рядов не вызывало серьезных возражений до конца XX в., когда климатические изменения стали весьма заметны. В связи с этим в настоящее время остро стоит вопрос об обоснованности назначения расчетных значений обеспеченности максимальных расходов и уровней для проектирования защитных сооружений, которые должны гарантировать их надежность на протяжении планируемого периода эксплуатации.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Повышение эффективности планируемых и проводимых противопаводковых мероприятий требует комплексного подхода, основанного на сопряжении нормативно-правовых, экономических, инженерно-технических и информационно-мониторинговых аспектов. При этом наводнения следует рассматривать не только как стихийное бедствие, а как гидролого-экономическое явление, что позволяет использовать более разнообразный набор механизмов управления.

Важность и актуальность реализации интегрированных механизмов управления риском наводнений значительно возрастает в связи со все более явным проявлением нестабильности и изменчивости климата, ростом экономических и социальных последствий затопления территорий и государственных расходов на ликвидацию последствий наводнений. Только комплексный подход к решению проблемы наводнений позволит купировать факторы риска и предотвратить возрастание ущерба в будущем.

<sup>11</sup> СП 529.1325800.2023. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М.: Минстрой России, 2023. 152 с.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заграевский С.В. Первоначальный вид церкви Покрова и Покровского монастыря на Нерли. Опыт графической реконструкции // Мат-лы XXIII межрегиональной краеведческой конференции. Владимир, 2018. С. 224–235.
2. Sayers, P., Li, Y., Galloway, E., Penning-Rowsell, E., Shen, F., Wen, K., Chen, Y., & Le Quesne, T. Flood risk management: A strategic approach. UNESCO. 2013. 204 p.
3. Paauw M., Smith G., Crabbé A., Fournier M., Munck J., Priest S., Rekola A. Recognition of differences in the capacity to deal with floods – A cross-country comparison of flood risk management. *Journal of Flood Risk Management*. 2024. e12965. DOI: 10.1111/jfr3.12965.
4. Сметанин В.И., Жогин И.М. К вопросу защиты пойменных земель от паводковых наводнений // *Природообустройство*. 2020. № 4. С.77– 83.
5. Лепихин А.П., Перепелица Д.И. К проблеме планирования мероприятий по защите территории от наводнений // Сб. докладов Межд. конгресса «Вода: экология и технология» ЭКВАТЭК –2006. М., 2006. Ч.1. С. 363–364.
6. Двинских С.А., Китаев А.Б., Михайлов А.В. Наводнения на реках бассейна Камы и организация защиты от них // *География и природные ресурсы*. 2010. № 4. С. 74–79.
7. Перепелица Д.И., Тиунов А.А., Лепихин А.П., Андреев С.Р., Голдобин Н.А., Лепешкин С.А. Выбор противопаводковых мероприятий с использованием вычислительных экспериментов (на примере нижнего течения реки Печоры) // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. 2023. № 2. С. 69–89. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_2\_4.
8. Schneider E. Floodplain Restoration of Large European Rivers, with Examples from the Rhine and the Danube // *Restoration of Lakes, Streams, Floodplains, and Bogs in Europe. Wetlands: Ecology, Conservation and Management*. 2010. Vol 3. Springer, Dordrecht. DOI: 10.1007/978-90-481-9265-6\_11.
9. Шаликовский А.В. Риск наводнений: методы оценки и картографирования // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. 2012. № 2. С. 68–78. DOI: 10.35567/1999-4508-2012-2-6.
10. Шаликовский А.В. Водные и водохозяйственные риски: анализ проблемы, концептуальные основы страхования. Екатеринбург: Изд-во РосНИИВХ, 2003. 100 с.
11. Шаликовский А.В. Оценка риска наводнений и зонирование паводкоопасных территорий // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. 2006. № 4. С. 27–35.
12. Изъюрова Ю. В. Оперативный учет речного стока в условиях неустановившегося движения потока (на примере реки Яна в гидростворе города Верхоянска) // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. 2021. № 3. С. 51–70. DOI: 10.35567/1999-4508-2021-3-3.
13. Шаликовский А.В. Методология управления водохозяйственными рисками, обусловленными экстремальными гидрологическими явлениями // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. 2011. № 6. С. 24–32. DOI: 10.35567/1999-4508-2011-6-3.
14. Шаликовский А.В., Курганович К.А. Управление риском наводнений в мире и в Российской Федерации // *Вестник Забайкальского государственного университета*. 2012. № 5. С. 21–31.
15. Huang G. A Comparative Study on Flood Management in China and Japan // *Water*. 2014. Vol. 6. P. 2821–2829. DOI: 10.3390/w6092821.
16. Шаликовский А.В. Обоснование возможности использования защитных дамб для регулирования паводкового стока // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. 2016. № 5. С. 63–75. DOI: 10.35567/1999-4508-2016-5-5.
17. Зайков Б.Д. Высокие половодья и паводки на реках СССР за историческое время. Л.: Гидрометеоиздат, 1954. 134 с.
18. Аполлов Б.А. Учение о реках. М.: Изд-во МГУ, 1963. 423 с.

## REFERENCES

1. Zagraevsky S.V. Initial view of the Church of the Intercession and the Intercession Monastery on the Nerli. Experience of graphic reconstruction. *Materialy XXIII mezhregionalnoy kraevedcheskoy konferentsiy [Proceedings of the XXIII Interregional Local History Conference]*. Vladimir, 2018. pp. 224–235.

2. Sayers, P., Li, Y., Galloway, E., Penning-Rowsell, E., Shen, F., Wen, K., Chen, Y., & Le Quesne, T. Flood risk management: A strategic approach. UNESCO. 2013. 204 p.
3. Paauw M., Smith G., Crabbé A., Fournier M., Munck J., Priest S., Rekola A. Recognition of differences in the capacity to deal with floods – A cross-country comparison of flood risk management. *Journal of Flood Risk Management*. 2024.e12965. DOI: 10.1111/jfr3.12965.
4. Smetanin V.I., Zhogin I.M. On the issue of protecting floodplain lands from floods. *Prirodoobustroystvo [Nature Management]*. 2020. No. 4. P.77-83.
5. Lepikhin A.P., Perepelitsa D.I. On the problem of planning measures to protect the territory from floods. Proceedings of International Congress “Water: Ecology and Technology” EKWATEK – 2006. M. 2006. Part 1. pp. 363–364.
6. Dvinskikh S.A., Kitaev A.B., Mikhailov A.V. Floods on the rivers of the Kama basin and the organization of protection against them. *Geografia i prirodniye resursy [Geography and natural resources]*. 2010. No. 4. pp. 74-79.
7. Perepelitsa D.I., Tiunov A.A., Lepikhin A.P., Andreev S.R., Goldobin N.A., Lepeshkin S.A. Selection of flood control measures using computational experiments (using the example of the lower reaches of the Pechora River). *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2023. No. 2. P. 69–89. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_2\_4.
8. Schneider E. Floodplain Restoration of Large European Rivers, with Examples from the Rhine and the Danube. Restoration of Lakes, Streams, Floodplains, and Bogs in Europe. *Wetlands: Ecology, Conservation and Management*. 2010. Vol 3. Springer, Dordrecht. DOI: 10.1007/978-90-481-9265-6\_11.
9. Shalikovskiy A.V. Flood risk: methods of assessment and mapping. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2012. No. 2. P. 68–78.
10. Shalikovskiy A.V. Water and water management risks: problem analysis, conceptual foundations of insurance. Ekaterinburg: Publishing house RosNIIVKh, 2003. 100 p.
11. Shalikovskiy A.V. Flood risk assessment and zoning of flood-prone areas. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2006. No. 4. P. 27-35.
12. Izyurova Yu. V. Operational accounting of river flow in conditions of unsteady flow movement (using the example of the Yana River in the hydraulic station of the city of Verkhoyansk). *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2021. No. 3. P. 51-70. DOI: 10.35567/1999-4508-2021-3-3.
13. Shalikovskiy A.V. Methodology for managing water management risks caused by extreme hydrological phenomena. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2011. No. 6. pp. 24–32.
14. Shalikovskiy A.V., Kurganovich K.A. Flood risk management in the world and in the Russian Federation. *Vestnik Zabaykalskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Transbaikal State University]*. 2012. No. 5. pp. 21–31.
15. Huang G. A Comparative Study on Flood Management in China and Japan. *Water*. 2014. Vol. 6. P. 2821–2829. DOI: 10.3390/w6092821
16. Shalikovskiy A.V. Justification of the possibility of using protective dams to regulate flood flow. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2016. No. 5. pp. 63–75. DOI: 10.35567/1999-4508-2016-5-5.
17. Zaikov B.D. High floods and floods on the rivers of the USSR over historical time. L.: Gidrometizdat, 1954. 134 p.
18. Apollov B.A. The doctrine of rivers. M.: Moscow State University Publishing House, 1963. 423 p.

#### **Сведения об авторах:**

**Шаликовский Андрей Валерьевич**, канд. техн. наук, доцент, руководитель филиала, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Восточный филиал, Россия, 672000, г. Чита, ул. Лермонтова, 1; ORCID: 0000-0002-5839-3498; e-mail: [vostokniivh@mail.ru](mailto:vostokniivh@mail.ru)

**Болгов Михаил Васильевич**, д-р техн. наук, заведующий лабораторией, ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук», Россия, 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3; ORCID: 0000-0003-3193-6488; e-mail: [bolgovmv@mail.ru](mailto:bolgovmv@mail.ru)

**Лепихин Анатолий Павлович**, д-р геогр. наук, профессор, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал, Россия, 614002, г. Пермь, ул. Николая Островского, 113; заведующий лабораторией проблем гидрологии суши, «Горный институт Уральского отделения Российской академии наук» – филиал ФГБУН «Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», Россия, 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78А; ORCID: 0000-0001-9874-3424; email: [lepin49@mail.ru](mailto:lepin49@mail.ru)

**About the authors:**

**Andrei V. Shalikovskiy**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Branch Manager, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection East Branch, ul. Lermontova 1, Chita, 672000, Russia; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5839-3498>; e-mail: [vostokniivh@mail.ru](mailto:vostokniivh@mail.ru)

**Mikhail V. Bolgov**, Doctor of Technical Sciences, Head of Laboratory, Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, ul. Gubkina, 3, Moscow, 119333, Russia; ORCID: 0000-0003-3193-6488; e-mail: [bolgovmv@mail.ru](mailto:bolgovmv@mail.ru)

**Anatoly P. Lepikhin**, Doctor of Geographic Sciences, Professor, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection Kama Branch, ul. Nikolai Ostrovsky, 113, Perm, 614002, Russia; Head of the Laboratory of Land Hydrology Problems, “Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences” – branch of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (“Ural Branch of the Russian Academy of Sciences”), ul. Sibirskaya, 78A, Perm, 614007, Russia; ORCID: 0000-0001-9874-3424; email: [lepin49@mail.ru](mailto:lepin49@mail.ru)

## Методология прогноза среднесрочного ущерба при экономическом обосновании мероприятий по защите от наводнений

А.В. Шаликовский , С.Г. Косарев , К.А. Курганович , М.А. Босов ,  
А.В. Маслова , Е.Х. Зыкова , А.А. Солодухин , Д.В. Кочев 

 [vostokniivh@mail.ru](mailto:vostokniivh@mail.ru)

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

### АННОТАЦИЯ




**Актуальность.** Возрастание ущерба от наводнений предполагает необходимость реализации экономически обоснованных превентивных мероприятий, однако в настоящее время в России отсутствуют утвержденные методики расчета экономической эффективности выполнения водохозяйственных мероприятий. Разработка методов определения статистических показателей ущерба от опасных гидрологических явлений и оценки эффективности защитных мероприятий является актуальной задачей. **Методы.** На основании анализа российского и зарубежного опыта предложен подход, основанный на определении математического ожидания ущерба от наводнений. **Результаты.** Разработана методология расчета разовых ущербов от наводнений различной повторяемости с последующим определением математического ожидания. Величина разового ущерба зданиям учитывает современные укрупненные нормативы цены строительства и степень повреждения зданий в зависимости от класса капитальности и глубины затопления.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** наводнение, ущерб, степень повреждения, защита от наводнения, компенсационные выплаты.

**Для цитирования:** Шаликовский А.В., Косарев С.Г., Курганович К.А., Босов М.А., Маслова А.В., Зыкова К.Х., Солодухин А.А., Кочев Д.В. Методология прогноза среднесрочного ущерба при экономическом обосновании мероприятий по защите от наводнений // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2024. № 4. С. 43–55. DOI:10.35567/19994508-2024-4-43-55.

Дата поступления 05.06.2024.

### METHODOLOGY FOR FORECASTING AVERAGE LONG-TERM DAMAGE IN THE ECONOMIC JUSTIFICATION OF FLOOD PROTECTION MEASURES

Andrey V. Shalikovskiy , Sergey G. Kosarev , Konstantin A. Kurganovich ,  
Maxim A. Bosov , Alla V. Maslova , Evgenia Kh. Zyкова ,  
Alexey A. Solodukhin , Denis V. Kochev 

 [vostokniivh@mail.ru](mailto:vostokniivh@mail.ru)

Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection. Eastern Branch, Chita, Russia

© Шаликовский А.В., Косарев С.Г., Курганович К.А., Босов М.А., Маслова А.В., Зыкова К.Х., Солодухин А.А., Кочев Д.В., 2024

## ANNOTATION

**Relevance.** An increase in damage from floods suggests the need to implement economically sound preventive measures, but currently in Russia, there are no approved methods for calculating the economic efficiency of water management measures. Therefore, the development of methods for determining statistical indicators of damage from hazardous hydrological phenomena and assessing the effectiveness of protective measures is an urgent task. **Methods.** Based on the analysis of Russian and foreign experience, an approach has been proposed, which involves determining the mathematical expectation of damage from floods. **Results.** The developed approach consists in calculating one-time damage from floods of varying frequency with the subsequent determination of the mathematical expectation. The amount of one-time damage to buildings takes into account modern integrated construction price standards and the degree of damage to buildings depending on their capital and flood depth.

**Keywords:** floods, damage, consolidated construction price standards, degree of damage, compensation payments.

**For citation:** Shalikovky A.V., Kosarev S.G., Kurganovich K.A., Bosov M.A., Maslova A.V., Zykova K.K., Solodukhin A.A., Kochev D.V. Methodology for forecasting average long-term damage in the economic justification of flood protection measures. Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management. 2024. No. 4. P. 43–55. DOI:10.35567/19994508-2024-4-43-55.

Received 05.06.2024.

## ВВЕДЕНИЕ

Наблюдаемый в настоящее время рост повторяемости наводнений и наносимого ими экономического ущерба определяет необходимость осуществления превентивных мер, основанных на количественном прогнозе ущерба от наводнений в натуральной и стоимостной формах, а также на объективной оценке эффективности принимаемых превентивных мероприятий, направленных на снижение рисков.

По результатам экспертизы Счетной палаты РФ «Оценка достижения целей, задач и показателей, предусмотренных документами стратегического планирования, а также оценки результатов принятых мер по ликвидации дефицита водных ресурсов, обеспечению защищенности от негативного воздействия вод<sup>1</sup> было отмечено отсутствие утвержденных методик расчета экономической эффективности выполнения водохозяйственных мероприятий и предложено наделить Минприроды России полномочиями по разработке и утверждению такой методики.

В данной работе отражены предварительные результаты обоснования методологической основы разрабатываемой методики, основанной на следующих принципах:

– соответствие современным научным достижениям в сфере управления природными и техногенными рисками с учетом специфики опасных гидрологических явлений;

– возможность получения необходимых данных для выполнения расчетов в рамках стандартного комплекса инженерных изысканий для строительства и по результатам мониторинга водных объектов.

<sup>1</sup> Бюллетень Счетной палаты РФ // Водные ресурсы. 2022. № 5 (294). 125 с.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для оценки фактического ущерба от наводнений в России в настоящее время используется методика, общая для всех видов чрезвычайных ситуаций<sup>2</sup>. Она применяется совместно с документами, утвержденными постановлениями Правительства РФ<sup>3,4,5</sup>.

В сфере деятельности Росводресурсов используется «Методика оценки вероятностного ущерба от вредного воздействия вод и оценки эффективности осуществления превентивных водохозяйственных мероприятий»<sup>6</sup>, разработанная ФГУП «ВИЭМС» в 2006 г. Данная методика фактически не является нормативным правовым документом, т. к. не утверждена в установленном порядке и противоречит действующей системе ценообразования, нормативам цены строительства и компенсации ущерба населению. Приведенные в ней примеры не содержат полных исходных данных, что допускает произвольную трактовку и в большинстве случаев дает завышенный «предотвращаемый ущерб» и, следовательно, преувеличенный экономический эффект.

Для определения размера вреда в результате аварии гидротехнических сооружений используются две методики<sup>7,8</sup>. В них выполнению расчетов предшествует разделение территории на зоны затопления, для установления границ которых используются критерии, различающиеся для жилых зданий, промышленных сооружений, элементов транспорта и связи, людских потерь. Положительным моментом этих методик является применение шкалы тяжести разрушений, что позволяет учитывать факторы воздействия затопления (глубину, продолжительность и скорость потока) на величину ущерба.

<sup>2</sup> Приказ МЧС России от 01.09.2020 № 631 (ред. от 24.07.2022) «Об утверждении Методики оценки ущерба от чрезвычайных ситуаций». Режим доступа: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_368894/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_368894/) (дата обращения: 25.05.2024).

<sup>3</sup> Постановление Правительства РФ от 16.10.2019 № 1327 (ред. от 25.01.2024) «Об утверждении Правил предоставления иных межбюджетных трансфертов из федерального бюджета ...». Режим доступа: [www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_335670/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_335670/) (дата обращения: 25.05.2024).

<sup>4</sup> Постановление Правительства РФ от 26.12.2019 № 1846 (ред. от 29.12.2023) «Об утверждении Положения об использовании бюджетных ассигнований резервного фонда Правительства Российской Федерации». Режим доступа: [www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_342115/2d1ae2713fe54a2c10ca3f1e059b7722068e7130/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_342115/2d1ae2713fe54a2c10ca3f1e059b7722068e7130/) (дата обращения: 25.05.2024).

<sup>5</sup> Постановление Правительства РФ от 28.12.2019 № 1928 (ред. от 02.03.2023) «Об утверждении Правил предоставления иных межбюджетных трансфертов из федерального бюджета ...». Режим доступа: [www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_342223/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_342223/) (дата обращения: 25.05.2024).

<sup>6</sup> Методика оценки вероятного ущерба от вредного воздействия вод и оценки эффективности осуществления превентивных водохозяйственных мероприятий. М.: ФГУП «ВИЭМС», 2006. 97 с.

<sup>7</sup> Приказ Ростехнадзора № 516 от 10.12.2020 г. «Об утверждении Методики определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии гидротехнического сооружения (за исключением судоходных и портовых гидротехнических сооружений)». Режим доступа: [www.gosnadzor.ru/energy/safety/acts.rtf](http://www.gosnadzor.ru/energy/safety/acts.rtf). (дата обращения: 25.03.2024).

<sup>8</sup> Приказ Министерства транспорта РФ № 153 от 25.04.2022 г. «Об утверждении Методики определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии судоходного гидротехнического сооружения». Режим доступа: [normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=434855](http://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=434855) (дата обращения: 25.05.2024).

Мировой опыт оценки возможного ущерба от наводнений свидетельствует о том, что в последнее десятилетие сформировался преобладающий подход к оценке риска наводнений через сочетание вероятности затопления и потенциального ущерба, однако в рамках единого подхода есть и некоторые отличия [1, 2]. При этом в подавляющем большинстве случаев при прогнозе потенциального ущерба ограничиваются только его зависимостью от глубины затопления<sup>9</sup> [3–5 и др.].

В представленной работе применен подход, основанный на определении риска как математического ожидания ущерба [6], при этом также предполагается, что величина ущерба при затоплении конкретного объекта является функцией глубины. Для оценки доли потерь при затоплении использован экспертный подход [7] с привлечением данных из различных источников [8–10 и др.].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Предлагаемый подход к оценке вероятного ущерба для экономического обоснования мероприятий по защите от наводнений включает следующие этапы:

а) построение зон затопления при нескольких значениях обеспеченности  $p_i$  в соответствии с табл. 1;

б) определение разового прогнозного ущерба от наводнения обеспеченностью  $p_i$  для отдельных составляющих (ущерб зданиям, линейным объектам, выплаты пострадавшим и т. д.);

в) определение общего разового прогнозного ущерба от наводнения обеспеченностью  $p_i$ ;

г) вычисление вероятного среднесноголетнего ущерба.

**Таблица 1.** Классификация зон затопления по степени воздействия наводнения на здания и сооружения

Table 1. Classification of flood zones according to the degree of impact of floods on buildings and structures

Код зоны	Уровень воздействия	Глубина затопления, м
А	слабый	менее 0,5
Б	средний	от 0,5 до 1,0
В	сильный	от 1,0 до 2,0
Г	очень сильный	более 2,0

Наиболее трудоемким является прогноз ущерба зданиям в связи с их многообразием как по назначению, так и по конструктивным особенностям. Поэтому нами использованы следующие допущения:

– стоимость восстановления определяется в долях от стоимости строительства нового здания соответствующего назначения, т. к. ремонтные работы осуществляются с использованием современных материалов и оплатой труда специалистов в действующей системе цен;

– степень повреждения зависит от глубины затопления и класса капитальности здания.

<sup>9</sup> Economic Guidance Memorandum (EGM) 04-01 / U.S. Army Corps of Engineers Generic. URL: <https://planning.ercd.dren.mil/toolbox/library/EGMs/egm01-03.pdf>. (дата обращения: 10.07.2022).



Эти допущения позволяют применять для обоснования стоимости зданий ежегодно актуализируемые сборники укрупненных нормативов цены строительства (НЦС)<sup>10</sup>, а для оценки степени повреждения – карты зон затопления и разработанные матрицы «капитальность – зона затопления – степень повреждения» (табл. 2).

**Таблица 2.** Степень повреждения зданий в зависимости от их капитальности и зоны затопления

Table 2. The degree of damage to buildings depending on their capital structure and flood zone

Группа капитальности	Код зоны затопления по степени воздействия			
	А	Б	В	Г
<b>Жилые здания</b>				
I	0,02	0,04	0,1	0,2
II	0,025	0,05	0,12	0,25
III	0,03	0,06	0,15	0,3
IV	0,05	0,1	0,2	0,5
V	0,08	0,2	0,4	0,8
VI	0,12	0,25	0,5	1,0
<b>Общественные здания</b>				
I	0,05	0,02	0,05	0,1
II	0,02	0,04	0,1	0,2
III	0,025	0,05	0,12	0,25
IV	0,03	0,06	0,15	0,3
V	0,04	0,07	0,17	0,4
VI	0,05	0,1	0,2	0,5
VII	0,08	0,2	0,4	0,8
VIII	0,12	0,25	0,5	1,0
IX	0,15	0,3	0,8	1,0
<b>Производственные здания</b>				
I	0,05	0,02	0,05	0,1
II	0,02	0,04	0,1	0,2
III	0,03	0,06	0,15	0,3
IV	0,05	0,1	0,2	0,5
V	0,12	0,25	0,5	1,0

Таким образом, разовый прогнозный ущерб всем зданиям на рассматриваемой территории от наводнения обеспеченностью  $p_i$  можно определить по зависимости:

$$y_i^{3\Delta} = \sum_{j,k} (K_{j,k}^{3\Delta} \cdot C_{j,k}^{3\Delta}), \quad (1)$$

где  $Y_i^{3\Delta}$  – разовый прогнозный ущерб всем зданиям различного назначения от наводнения обеспеченностью  $p_i$ ;

$K_{j,k}^{3\Delta}$  – степень повреждения зданий  $j$ -го типа в  $k$ -ой зоне воздействия, определяемая по табл. 2;

<sup>10</sup> Укрупненные нормативы цены строительства. Минстрой России. Режим доступа: [minstroyrf.gov.ru/trades/tsenoobrazovanie/ukрупnennyye-normativy-tseny-stroitelstva](http://minstroyrf.gov.ru/trades/tsenoobrazovanie/ukрупnennyye-normativy-tseny-stroitelstva) (дата обращения: 25.05.2024).

$C_{j,k}^{3A}$  – стоимость строительства зданий  $j$ -го типа в  $k$ -ой зоне воздействия, определяемая по формуле:

$$C_{j,k}^{3A} = (\text{НЦС}_j^{3A} \cdot S_{j,k}^{3A} \cdot \text{КП}_j^{3A}) \cdot I_{\text{пр}} + \text{НДС}, \quad (2)$$

где  $\text{НЦС}_j^{3A}$  – норматив цены строительства зданий  $j$ -го типа для первого базового района;

$S_{j,k}^{3A}$  – площадь горизонтальной проекции зданий  $j$ -го типа в  $k$ -ой зоне воздействия;

$\text{КП}_j^{3A}$  – произведение коэффициентов перехода к условиям рассматриваемой территории, представленные в сборниках НЦС.

$I_{\text{пр}}$  – индекс-дефлятор от даты установления норматива  $\text{НЦС}_j^{3A}$  на дату расчета, определенный по отрасли «Инвестиции в основной капитал (капитальные вложения)» Минэкономразвития;

НДС – налог на добавленную стоимость.

Вычисление разового прогнозного ущерба линейным объектам производится аналогично зданиям:

$$y_i^{\text{лин}} = \sum_{j,k} (K_{j,k}^{\text{лин}} \cdot C_{j,k}^{\text{лин}}), \quad (3)$$

где  $K_{j,k}^{\text{лин}}$  – степень повреждения линейных объектов  $j$ -го типа в  $k$ -ой зоне воздействия, определяемая по табл. 3;

$C_{j,k}^{\text{лин}}$  – стоимость строительства линейных объектов  $j$ -го типа в  $k$ -ой зоне воздействия, определяемая по формуле, аналогичной (2).

**Таблица 3.** Степень повреждения линейных объектов в зависимости от зоны затопления

Table 3. The degree of damage to linear objects depending on the flood zone

Тип линейных объектов	Зоны затопления по степени воздействия			
	А	Б	В	Г
Уличная сеть населенных пунктов				
Магистральные улицы	0,002	0,005	0,02	0,04
Улицы общегородского значения I класса	0,002	0,006	0,025	0,05
Улицы общегородского значения II класса	0,002	0,007	0,03	0,06
Улицы районного значения	0,005	0,015	0,06	0,12
Улицы в жилой застройке	0,01	0,03	0,12	0,25
Улицы и дороги в производственных и коммунально-складских зонах	0,015	0,05	0,2	0,4
Проезды в кварталах	0,01	0,02	0,1	0,2

На наш взгляд, при оценке прогнозного ущерба линейным объектам достаточно ограничиться улично-дорожной сетью, а ущерб другим объектам относить к неучтенному. Это связано, с одной стороны, с высокой сложностью их идентификации, с другой – с высокой устойчивостью водонесущих коммуникаций к воздействию затопления.

Разовые прогнозные расходы на ликвидацию последствий наводнения  $Y_i^{\text{ЛИКВ}}$  обеспеченностью  $p_i$  предлагается принимать в размере 20 % от суммы ущерба зданиям и линейным объектам:

$$Y_i^{\text{ЛИКВ}} = 0,2 \cdot (Y_i^{\text{ЗД}} + Y_i^{\text{ЛИН}}), \quad (4)$$

Разовые прогнозные компенсационные выплаты пострадавшим  $Y_i^{\text{КОМП}}$  от наводнения обеспеченностью  $p_i$  определяются по формуле:

$$Y_i^{\text{КОМП}} = Y_i^{\text{ЕДИНОВ}} + Y_i^{\text{ЧАСТ.ИМУЩ}} + Y_i^{\text{ПОЛН.ИМУЩ}} + Y_i^{\text{ЧАСТ.ПРЕДПР}} + Y_i^{\text{ПОЛН.ПРЕДПР}}, \quad (5)$$

где  $Y_i^{\text{ЕДИНОВ}}$  – единовременная материальная помощь гражданам, у которых нарушены условия жизнедеятельности в результате воздействия наводнения;

$Y_i^{\text{ЧАСТ.ИМУЩ}}$  – финансовая помощь в связи с частичной утратой имущества первой необходимости;

$Y_i^{\text{ПОЛН.ИМУЩ}}$  – финансовая помощь гражданам в связи с полной утратой имущества первой необходимости;

$Y_i^{\text{ЧАСТ.ПРЕДПР}}$  – финансовая помощь юридическим лицам и гражданам, осуществляющим предпринимательскую деятельность без образования юридического лица, в связи с частичной утратой имущества;

$Y_i^{\text{ПОЛН.ПРЕДПР}}$  – финансовая помощь юридическим лицам и гражданам, осуществляющим предпринимательскую деятельность без образования юридического лица, в связи с полной утратой имущества.

Перечисленные составляющие формулы (5) определяются путем произведения нормативов, установленных федеральным законодательством<sup>5</sup> и законодательством субъектов РФ, на число получателей тех или иных выплат. Для определения количества получателей предлагается следующий подход:

– число граждан, у которых нарушены условия жизнедеятельности в результате воздействия наводнения принимается равным численности постоянного населения в границах зоны затопления обеспеченностью  $p_i$ ;

– число граждан, частично или полностью утративших имущество первой необходимости, принимается равным доле численности постоянного населения в границах зоны затопления обеспеченностью  $p_i$  в соответствии с табл. 4;

**Таблица 4.** Доля населения, утратившего имущество первой необходимости  
Table 4. Share of the population who lost essential property

Код зоны затопления по степени воздействия	Доля жителей индивидуальных домов и жителей первого этажа многоквартирных домов, %	
	частично утративших имущество первой необходимости	полностью утративших имущество первой необходимости
А	15	0
Б	40	5
В	60	40
Г	0	100

– количество юридических лиц и предпринимателей, частично или полностью утративших имущество в результате воздействия наводнения обеспеченностью  $p_i$ , предлагается определять по табл. 5, при этом их общее число в зоне  $k$  вычисляется по формуле:

$$N_{i,k}^{\text{преапр}} = 0,7 \cdot N_{\text{общ}}^{\text{преапр}} \cdot \frac{F_{i,k}^{\text{зат}}}{F_{\text{общ}}}, \quad (6)$$

где 0,7 – коэффициент, учитывающий долю предпринимателей, осуществляющих деятельность на первом и в цокольном этажах зданий;

$N_{\text{общ}}^{\text{преапр}}$  – число предпринимателей в населенном пункте по данным государственных органов;

$F_{i,k}^{\text{зат}}$  – площадь  $k$ -ой зоны затопления по степени воздействия при наводнении обеспеченностью  $p_i$ .

$F_{\text{общ}}$  – общая площадь населенного пункта, в пределах которого расположена рассматриваемая территория.

**Таблица 5.** Доля юридических лиц и предпринимателей, утративших имущество  
Table 5. Share of legal entities and entrepreneurs who lost property

Код зоны затопления по степени воздействия	Доля от числа предпринимателей, осуществляющих деятельность на первом и в цокольном этажах зданий, %	
	частично утративших имущество	полностью утративших имущество
А	20	3
Б	45	5
В	80	10
Г	70	30

В разрабатываемой методике также представлены предложения по определению прогнозного ущерба природной среде  $Y_i^{\text{прир}}$  и от потерь сельскохозяйственной продукции  $Y_i^{\text{сх}}$ .

Существенной долей ущерба являются его сложно прогнозируемые и случайные составляющие:

- ущерб малым архитектурным формам и озеленению населенных пунктов;
- ущерб наружным тепловым и электрическим сетям, сетям связи, водоснабжения и канализации;
- единовременные пособия членам семей погибших граждан и единовременные пособия гражданам, получившим вред здоровью;
- ущерб имуществу граждан, юридических лиц и предпринимателей, превышающий величину компенсационных выплат;
- потери сельскохозяйственной продукции в результате гибели урожая многолетних насаждений и сельскохозяйственных животных.

Величину неучтенного ущерба предлагается определять в размере 30 % от суммы оцениваемых составляющих:

$$Y_i^{\text{неучт}} = 0,3 \cdot (Y_i^{3\Delta} + Y_i^{\text{лин}} + Y_i^{\text{ликв}} + Y_i^{\text{комп}} + Y_i^{\text{сх}} + Y_i^{\text{прир}}), \quad (7)$$

Таким образом, суммарный разовый прогнозный ущерб  $Y_i$  от наводнения обеспеченностью  $p_i$  рассчитывается по формуле:

$$Y_i = Y_i^{3\Delta} + Y_i^{\text{лин}} + Y_i^{\text{ликв}} + Y_i^{\text{комп}} + Y_i^{\text{сх}} + Y_i^{\text{прир}} + Y_i^{\text{неучт}}, \quad (8)$$

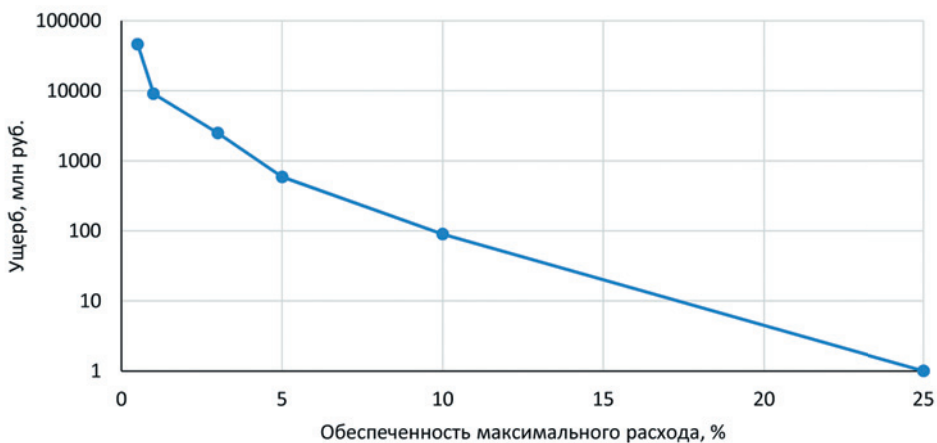
Для определения вероятного среднеемноголетнего ущерба следует произвести вычисление  $Y_i$  для нескольких значений обеспеченности наводнений: построить для нескольких значений  $p_i$  зоны затопления по грациям табл. 1, рассчитать составляющие ущерба и суммарные разовые прогнозные ущербы. Совокупность ущербов разной вероятности превышения позволяет определить величину вероятного ущерба – количественного показателя риска, сочетающего вероятность наводнений и их последствия.

Среднеемноголетний вероятный ущерб от наводнений предлагается определять через величину его математического ожидания [6]:

$$M(Y) = \sum_i \frac{(y_i + y_{i+1})}{2} \cdot \frac{|p_i - p_{i+1}|}{100\%}, \quad (9)$$

В зависимости (9) полусумма разовых ущербов представляет собой значение ущерба с вероятностью, равной значению второй дроби, что тождественно классической форме записи математического ожидания случайной величины.

Для примера в табл. 6 представлены значения разового ущерба территории города от наводнений (по зонам затопления и суммарный) при нескольких значениях обеспеченности. График зависимости ущерба от обеспеченности и гистограмма его распределения отражены на рис. 1 и рис. 2.



**Рис. 1.** Зависимость разового прогнозного ущерба от обеспеченности максимального расхода.

Fig. 1. Dependence of one-time forecast damage on the probability of exceeding.

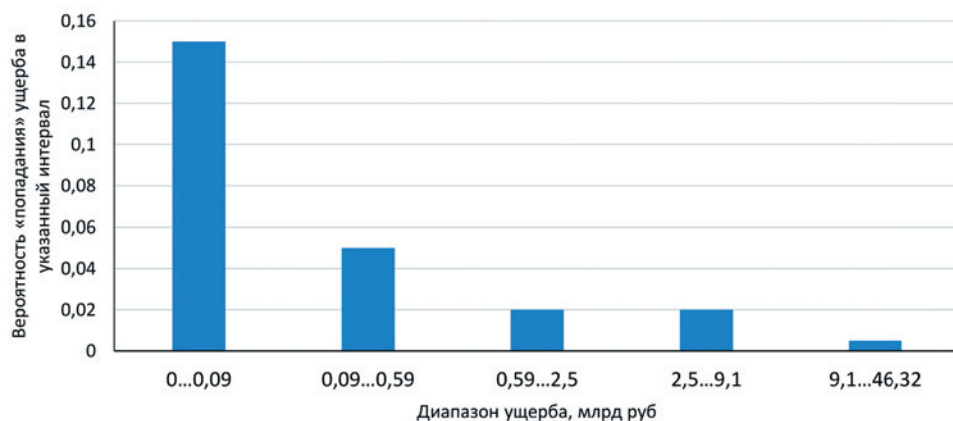


Рис. 2. Гистограмма плотности распределения ущерба.

Fig. 2. Histogram of damage distribution density.

**Таблица 6.** Разовый прогнозный ущерб при различных обеспеченностях максимального расхода, млн руб.

Table 6. One-time forecast damage at various levels of maximum flow rate, million rubles.

Глубина затопления, м	Обеспеченность максимального расхода, %					
	25	10	5	3	1	0,5
Менее 0,5	0	70	200	290	710	840
0,5–1,0	0	20	150	410	1030	2120
1,0–2,0	0	0	240	840	3600	15 840
Более 2,0	0	0	0	960	3760	27 520
Сумма (общий прогнозный ущерб)	0	90	590	2500	9100	46 320

Среднемноголетний вероятный ущерб от наводнений для данного примера, рассчитанный по формуле математического ожидания (9), равен:

$$M(Y) = \sum_i \frac{(y_i + y_{i+1})}{2} \cdot \frac{|p_i - p_{i+1}|}{100\%} = \frac{(0+90)}{2} \cdot \frac{|25-10|}{100} + \dots + \frac{(9100+46320)}{2} \cdot \frac{|1-0,5|}{100} = 390,2 \text{ млн руб/год.} \quad (10)$$

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный в работе подход к прогнозу среднемноголетнего ущерба от наводнений направлен на повышение объективности оценок как самого ущерба, так и экономической эффективности планируемых водохозяйственных мероприятий.

В соответствии с этим подходом можно на основании зонирования территории рассчитать величину ущерба для различных значений обеспеченности

наводнений, а затем – его математическое ожидание, являющееся вероятным среднесноголетним значением потерь от затопления. Повышение надежности прогнозных расчетов также обеспечивает применение современных норм ценообразования в строительстве, которые позволяют объективно учитывать особенности субъектов Российской Федерации, а в ряде случаев – ценовые и климатические отличия отдельных территорий.

Данную гидролого-экономическую модель предполагается использовать и для других частных случаев: вычисления математического ожидания ущерба на основании статистических данных для крупных территорий (речной бассейн, субъект РФ), определения остаточного ущерба от наводнений после работ некапитального характера, сопоставления воздействия на риск наводнений мероприятий различного характера.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Boulange J., Hirabayashi Y., Tanoue M. et al. Quantitative evaluation of flood damage methodologies under a portfolio of adaptation scenarios // *Natural Hazards*. 2023. Vol. 118, 1855-1879. DOI: 10.1007/s11069-023-06017-7.
2. Шаликовский А.В., Курганович К.А. Управление риском наводнений в мире и в Российской Федерации // *Вестник Забайкальского государственного университета*. 2012. № 5. С. 21–31.
3. Olsen A.S., Zhou Q., Linde J.J., Arnbjerg-Nielsen K. Comparing methods of calculating expected annual damage in urban pluvial flood risk assessments // *Water*. 2015. № 7, 255-270. DOI: 10.3390/w7010255.
4. Scawthorn C., Flores P., Blais N., Seligson H., Tate E., Chang S., et al. HAZUS-MH flood loss estimation methodology. II. Damage and loss assessment // *Natural Hazards Rev.* 2006. № 7. 72–81. DOI: 10.1061/(ASCE)1527-6988(2006)7:2(72)
5. Шаликовский А.В. Оценка риска наводнений и зонирование паводкоопасных территорий // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. 2006. № 4. С. 27–35.
6. Шаликовский А.В. Риск наводнений: методы оценки и картографирования // *Водное хозяйство России*. 2012. № 2. С. 68–78.
7. Шаликовский А.В. Водные и водохозяйственные риски: анализ проблемы, концептуальные основы страхования. Екатеринбург: Изд-во РосНИИВХ, 2003. 100 с.
8. Appelbaum S.J. Determination of Urban Flood Damages // *Water Resources Planning Management*. 1985. Vol. 111. № 3. 269–282. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9496(1985)111:3(269).
9. Cammerer H., Thieken A.H., Lammel J. Adaptability and transferability of flood loss functions in residential areas // *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2013. Vol. 13. 3063–3081. DOI: 10.5194/nhess-13-3063-2013.
10. Notaro V., De Marchis M., Fontanazza C.M. et al. The Effect of Damage Functions on Urban Flood Damage Appraisal // *Procedia Engineering*. Vol. 70. 2014. 1251–1260. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.02.138.

### REFERENCES

1. Boulange J., Hirabayashi Y., Tanoue M. et al. Quantitative evaluation of flood damage methodologies under a portfolio of adaptation scenarios. *Natural Hazards*. 2023. Vol. 118, 1855-1879. DOI: 10.1007/s11069-023-06017-7.
2. Shalikhovsky A.V., Kurganovich K.A. Flood risk management in the world and in the Russian Federation. *Bulletin of the Transbaikal State University*. 2012. No. 5. pp. 21–31.
3. Olsen A.S., Zhou Q., Linde J.J., Arnbjerg-Nielsen K. Comparing methods of calculating expected annual damage in urban pluvial flood risk assessments // *Water*. 2015. № 7, 255-270. DOI: 10.3390/w7010255.
4. Scawthorn C., Flores P., Blais N., Seligson H., Tate E., Chang S., et al. HAZUS-MH flood loss estimation methodology. II. Damage and loss assessment. *Natural Hazards Rev.* 2006. No. 7. 72–81. DOI: 10.1061/(ASCE)1527-6988(2006)7:2(72)

5. Shalikovskiy A.V. Flood risk assessment and zoning of flood-prone areas. Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management. 2006. No. 4. P. 27-35.
6. Shalikovskiy A.V. Flood risk: methods of assessment and mapping. Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management. 2012. No. 2. P. 68–78.
7. Shalikovskiy A.V. Water and water management risks: problem analysis, conceptual foundations of insurance. Ekaterinburg: Publishing house RosNIIVKh, 2003. 100 p.
8. Appelbaum S.J. Determination of Urban Flood Damages // Water Resources Planning Management. 1985. Vol. 111. № 3. 269–282. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9496(1985)111:3(269).
9. Cammerer H., Thieken A.H., Lammell J. Adaptability and transferability of flood loss functions in residential areas // Natural Hazards and Earth System Sciences. 2013. Vol. 13. 3063–3081. DOI: 10.5194/nhess-13-3063-2013.
10. Notaro V., De Marchis M., Fontanazza C.M. et al. The Effect of Damage Functions on Urban Flood Damage Appraisal // Procedia Engineering. Vol. 70. 2014. 1251–1260. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.02.138.

#### **Сведения об авторах:**

**Шаликовский Андрей Валерьевич**, канд. техн. наук, доцент, руководитель филиала, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Восточный филиал, Россия, 672000, г. Чита, ул. Лермонтова, 1; ORCID: 0000-0002-5839-3498; e-mail: [vostokniivh@mail.ru](mailto:vostokniivh@mail.ru);

**Косарев Сергей Геннадьевич**, канд. техн. наук, доцент, ведущий специалист, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Восточный филиал, Россия, 672000, г. Чита, ул. Лермонтова, 1; ORCID: 0009-0004-1298-6257; e-mail: [kosarevsg@mail.ru](mailto:kosarevsg@mail.ru)

**Курганович Константин Анатольевич**, канд. техн. наук, доцент, ведущий специалист, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Восточный филиал, Россия, 672000, г. Чита, ул. Лермонтова, 1; ORCID: 0000-0002-6146-2984; e-mail: [naptheodor@mail.ru](mailto:naptheodor@mail.ru)

**Босов Максим Анатольевич**, канд. техн. наук, доцент, специалист, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Восточный филиал, Россия, 672000, г. Чита, ул. Лермонтова, 1; ORCID: 0000-0003-1871-1380; e-mail: [max\\_bosov@mail.ru](mailto:max_bosov@mail.ru)

**Маслова Алла Владимировна**, канд. техн. наук, доцент, специалист, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Восточный филиал, Россия, 672000, г. Чита, ул. Лермонтова, 1; ORCID: 0009-0003-4347-4628; e-mail: [maslova.alla2013@yandex.ru](mailto:maslova.alla2013@yandex.ru)

**Зыкова Евгения Хамимдуловна**, канд. биол. наук, доцент, специалист, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Восточный филиал, Россия, 672000, г. Чита, ул. Лермонтова, 1; ORCID: 0009-0006-8275-5950; e-mail: [evgenia.zykova@mail.ru](mailto:evgenia.zykova@mail.ru)

**Солодухин Алексей Анатольевич**, ведущий инженер, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Восточный филиал, Россия, 672000, г. Чита, ул. Лермонтова, 1; ORCID: 0009-0009-2123-1450; e-mail: [solodyhin5@mail.ru](mailto:solodyhin5@mail.ru)

**Кочев Денис Владимирович**, инженер, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Восточный филиал, Россия, 672000, г. Чита, ул. Лермонтова, 1; ORCID: 0000-0002-7833-9712; e-mail: [denis.ko4ev@yandex.ru](mailto:denis.ko4ev@yandex.ru)



**About the authors:**

**Andrei V. Shalikovskiy**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Branch Manager, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection East Branch, ul. Lermontova 1, Chita, 672000, Russia; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5839-3498>; e-mail: [vostokniivh@mail.ru](mailto:vostokniivh@mail.ru)

**Sergey G. Kosarev**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Specialist, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection East Branch, ul. Lermontova 1, Chita, 672000, Russia; ORCID: 0009-0004-1298-6257; e-mail: [kosarevsg@mail.ru](mailto:kosarevsg@mail.ru)

**Konstantin A. Kurganovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Specialist, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection East Branch, ul. Lermontova 1, Chita, 672000, Russia; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6146-2984>; e-mail: [naptheodor@mail.ru](mailto:naptheodor@mail.ru)

**Maxim A. Bosov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Specialist, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection East Branch, ul. Lermontova 1, Chita, 672000, Russia; ORCID: 0000-0003-1871-1380; e-mail: [max\\_bosov@mail.ru](mailto:max_bosov@mail.ru)

**Alla V. Maslova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Specialist, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection East Branch, ul. Lermontova 1, Chita, 672000, Russia; ORCID: 0009-0003-4347-4628; e-mail: [maslova.alla2013@yandex.ru](mailto:maslova.alla2013@yandex.ru)

**Evgenia Kh. Zykova**, Candidate of Biology Sciences, Associate Professor, Specialist, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection East Branch, ul. Lermontova 1, Chita, 672000, Russia; ORCID: 0009-0006-8275-5950; e-mail: [evgenia.zykova@mail.ru](mailto:evgenia.zykova@mail.ru)

**Alexey A. Solodukhin**, Leading Engineer, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection East Branch, ul. Lermontova 1, Chita, 672000, Russia; ORCID: 0009-0009-2123-1450; e-mail: [solodyhin5@mail.ru](mailto:solodyhin5@mail.ru)

**Denis V. Kochev**, Engineer, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection East Branch, ul. Lermontova 1, Chita, 672000, Russia; ORCID: 0000-0002-7833-9712; e-mail: [denis.ko4ev@yandex.ru](mailto:denis.ko4ev@yandex.ru)

## Программно-целевой подход к решению водохозяйственных проблем Дальневосточного федерального округа

Н.Н. Бортин  

 nbortin@mail.ru

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

### АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** Самый большой по территории Дальневосточный федеральный округ (ДФО) в Российской Федерации располагает огромным водно-ресурсным потенциалом, отличается разнообразием природно-климатических зон и является территорией опережающего развития. Социально-экономическое развитие территории округа в значительной степени зависит как от наличия и качества водных ресурсов, так и от негативного влияния вод (наводнения, плановые деформации русел рек, загрязнение пресноводных водных объектов и прибрежных морских акваторий), а также от решения межгосударственных вопросов охраны и использования трансграничных водных объектов. В статье представлены результаты исследований Дальневосточного филиала ФГБУ РосНИИВХ по тематике задач эффективного управления водохозяйственной деятельностью в ДФО.

**Методы.** Острота и сложность водохозяйственных проблем определяют выбор программно-целевого подхода к их решению. Технология программно-целевого метода включает анализ водно-ресурсного потенциала и состояния водохозяйственных объектов; разработку научно-методической базы для обоснования и выбора оптимальных вариантов решения водохозяйственных проблем; разработку программных мероприятий. **Результаты.** На основе программно-целевого подхода для субъектов ДФО разработаны, прошли экспертизы и утверждены федеральная и региональные целевые программы по минимизации негативного воздействия вод и обеспечению населения качественной питьевой водой. Для решения задач эффективного управления водохозяйственной деятельностью и защиты населения от негативного воздействия вод разработаны: проекты нормативно-методических и нормативно-правовых документов по проектированию объектов противопаводковой защиты территорий в условиях муссонного климата юга Дальнего Востока, регламенту хозяйственной деятельности на паводкоопасных территориях; методика и пакет нормативно-правовых документов страхования от наводнений; методика сверхдолгосрочных прогнозов наводнений и квотирования уровня загрязнений в створах трансграничных водных объектов и ряд других нормативно-правовых документов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Дальневосточный федеральный округ, водные ресурсы, водопользование, наводнения и русловые деформации, антропогенное загрязнение вод, трансграничное взаимодействие, прибрежные морские акватории, управление водопользованием, программно-целевой подход.

**Для цитирования:** Бортин Н.Н. Программно-целевой подход к решению водохозяйственных проблем Дальневосточного федерального округа // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2024. № 4. С. 56–72. DOI:10.35567/19994508-2024-4-56-72.

Дата поступления 28.06.2024.

© Бортин Н.Н., 2024

## PROGRAM-TARGETED APPROACH TO SOLUTION OF WATER MANAGEMENT PROBLEMS OF FAR EASTERN FEDERAL DISTRICT

Nikolay N. Bortin  

 dvf@wrm.ru

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

### ANNOTATION

**Relevance.** Far Eastern Federal District (FEFD) in the Russian Federation is the largest in terms of territory, it has a huge water resource potential, it is distinguished by a variety of natural and climatic zones, and it is a territory of advanced development. The socio-economic development of Far Eastern Federal District largely depends on both the availability and quality of water resources, and negative impact of water (floods, planned deformations of riverbeds, pollution of freshwater bodies and coastal marine areas caused by natural and anthropogenic factors); from solving interstate issues of protection and use of transboundary water bodies. The article presents the results of research by Far Eastern Branch of the RosNIIVKh (DalNIIVKh), aimed at solving the problems of effective water management in Far Eastern Federal District. **Methods.** The severity and complexity of the problems listed above predetermine the only way to solve them, which is the program-targeted approach. The technology of the program-targeted method in solving socio-ecological water problems included the following structural blocks: analysis of the input-resource potential and the state of water facilities; development of a scientific and methodological base for substantiating and choosing the best options for solving water management problems; development of program activities. **Results.** Based on the program-targeted approach, DalNIIVKh has developed Federal and regional target programs for individual constituent members of Far East Federal District to minimize the negative impact of water and provide the population with high-quality drinking water. These programs have passed appropriated examinations and have approved. To solve the problems of effective water management and protection of the population from the negative impact of water, draft regulatory, methodological, and regulatory documents have been developed on the regulation of economic activities in flood-prone areas, a methodology and a package of regulatory documents for flood insurance, methods for ultra-long-term flood forecasts and pollution quotas at the ranges of transboundary water bodies and a number of other legal documents.

**Keywords:** Far Eastern Federal District, water resources, water use, floods and channel deformations, anthropogenic water pollution, transboundary interaction, coastal marine areas, water use management, program-targeted approach.

**For citation:** Bortin N.N. Program-targeted approach to solution of water management problems of Far Eastern Federal District. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2023. No. 4. P. 56–72. DOI:10.35567/19994508-2024-4-56-72.

Received 28.06.2024.

### ВВЕДЕНИЕ

Анализ состояния и перспектив развития субъектов Российской Федерации, хозяйствующих в бассейнах рек и прибрежных морских акваториях ДФО, отраженный в ряде региональных программ и Постановлении Правительства РФ от 15.04.2014 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Социально-экономическое развитие Дальневосточного федерального округа»<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Постановление Правительства РФ от 15.04.2014 № 308 (ред. от 29.03.2019) «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Социально-экономическое развитие Дальневосточного федерального округа».

свидетельствуют о значительной зависимости намеченных программных мероприятий от природных рисков, связанных с наводнениями и загрязнением водных объектов и прибрежных морских акваторий, обусловленных как природными, так и антропогенными факторами, а также от решения межгосударственных вопросов охраны и использования трансграничных водных объектов.

Хозяйственная деятельность на территории ДФО сопровождается интенсивным использованием водных ресурсов, загрязнением и деградацией водных объектов и неконтролируемым использованием пойменных территорий. Значительные территории подвергаются регулярному затоплению паводковыми водами, принося практически ежегодно многомиллиардные ущербы субъектам, расположенным в бассейнах рек. Большая территория региона, географическое положение на границе континент–океан, сложная орография определяют своеобразные природно-климатические условия, характеризующиеся существенной внутригодовой неравномерностью водного режима, экстремальными гидрометеорологическими явлениями практически ежегодной повторяемости. Данное обстоятельство обуславливает региональную специфику природных условий, которую следует учитывать на всех стадиях разработки и планирования водохозяйственных мероприятий. Наиболее остро проблема учета региональной специфики возникает при определении гидрологических характеристик, которые являются основой при разработке инженерно-технических водохозяйственных мероприятий. Гидрологические и водохозяйственные расчеты с использованием общероссийских нормативов в условиях муссонного климата юга Дальнего Востока приводят к значительным ошибкам при проектировании гидротехнических сооружений.

В рамках представленной статьи акцентировано внимание на ранее разработанных дальневосточными учеными водохозяйственного профиля программах и проектах нормативно-методических и нормативно-правовых документов для решения социально-экологических вопросов и эффективного управления водохозяйственной деятельностью в ДФО в современных условиях.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Дальневосточный федеральный округ расположен на северо-востоке Азиатского континента, занимает порядка 41 % территории России, включает 11 субъектов Российской Федерации, омывается двумя океанами и шестью морями (рис. 1). Центр округа – г. Владивосток.

ДФО занимает значительную часть Восточной Сибири и всю территорию Дальнего Востока, омываемых Северным Ледовитым и Тихим океанами, что обуславливает разнообразие атмосферной циркуляции и, соответственно, разнообразие природно-климатических зон. Особенности атмосферной циркуляции в совокупности со сложным строением рельефа создают в каждой природно-климатической зоне своеобразные условия формирования водно-ресурсного потенциала, водного режима речных систем, различное соотношение долей участия подземного, дождевого и снегового стоков в общем годовом стоке рек и смену типов их внутригодового распределения.



**Рис. 1.** Субъекты РФ в составе ДФО (площадь территории, население и водно-ресурсный потенциал).

Fig. 1. Constituent members of the Russian Federation included into Far Eastern Federal District (the area, population, and water/resources potential)

В данной статье проанализированы выполненные Дальневосточным филиалом ФГБУ РосНИИВХ работы, утвержденные Правительством РФ, Министерством науки и технологий РФ, губернаторами краев и областей Дальнего Востока, а также зарегистрированные во Всероссийском научно-техническом информационном центре (ВНИИЦ) и выполняемые по государственному заданию Федерального агентства водных ресурсов результаты исследований.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### Водные ресурсы и водопользование

Суммарные среднегодовые ресурсы поверхностных вод ДФО составляют 62 % от ресурсов поверхностных вод Российской Федерации, естественные ресурсы подземных вод – 21 %. Распределение водных ресурсов характеризуется существенной неравномерностью как во времени, так и по территории.

Регион обладает развитой гидрографической сетью, средняя густота которой изменяется от 0,4 (бассейн моря Лаптевых) до 1 км на 1 км<sup>2</sup> в бассейне Берингова моря. Основными источниками питания рек в центральной и северной частях ДФО являются талые снеговые (наледные) воды (50 – 60 % годового стока), в южной части преобладает питание дождевыми водами

(50 –80 %), доля грунтового питания изменяется в интервале 5–15 % (минимальные значения – на севере, максимальные – на юге).

Основные потребители водных ресурсов – тепло-электроэнергетика, коммунальное хозяйство, промышленность, сельское хозяйство (гидромелиорация), водный транспорт, разведка и добыча полезных ископаемых.

Основной объем сброса сточных вод осуществляют предприятия промышленности, ЖКХ и сельского хозяйства. На сброс приходится 80–90 % объема забранной из пресноводных источников воды, 75 % сточных вод по качественному составу не соответствуют нормативным требованиям.

### Социально-экологические водные проблемы ДФО

Для водных объектов Дальневосточного федерального округа определены две категории проблем [1] (рис. 2):

- а) региональные социально-экологические водные проблемы;
- б) проблемы трансграничных водных объектов.

Региональные водные проблемы (при избытке водных ресурсов в целом по территории) определяются, в первую очередь, природно-климатическими факторами, которые обуславливают существенную многолетнюю и внутригодовую неравномерность водного режима рек с экстремальными гидрометеорологическими явлениями, а также антропогенной деятельностью.

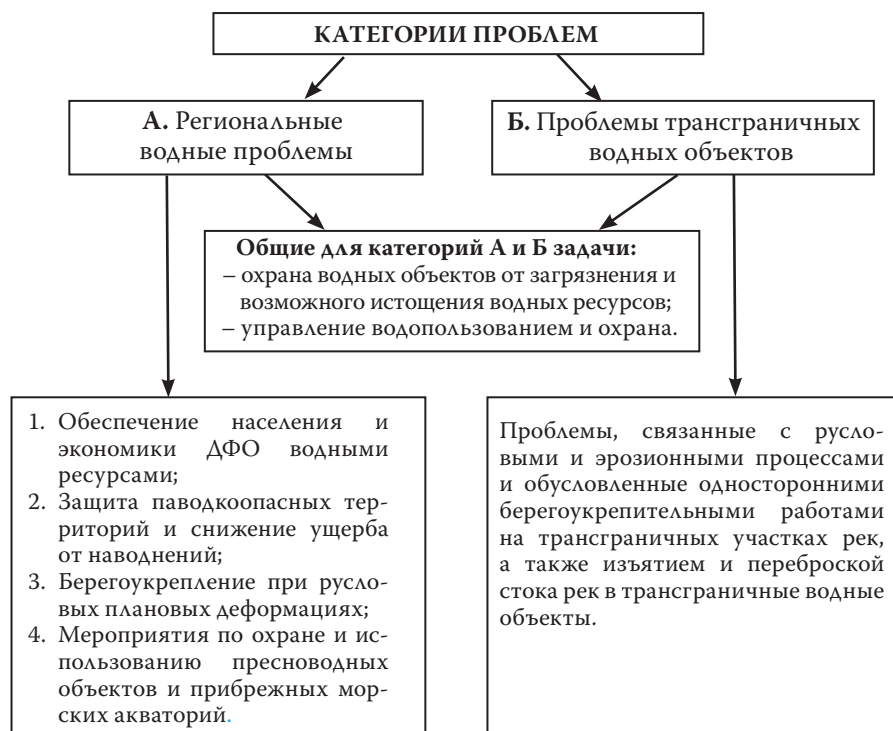


Рис. 2. Категории социально-экологических водных проблем в Дальневосточном федеральном округе.

Fig. 2. Categories of social/ecological water problems of Far Eastern Federal District.

Трансграничные проблемы обусловлены недостаточным исполнением соглашений между Российской Федерацией, Китаем и Монголией о рациональном использовании и охране трансграничных вод сопредельных государств<sup>2,3</sup>.

### **Негативное воздействие вод**

*Наводнения и русловые деформации.* Из всех стихийных бедствий наибольший экономический ущерб социально-экономическому комплексу ДФО наносят наводнения, причиной которых могут быть летне-осенние паводки, снеговые или снегодождевые половодья, заторы и зажоры льда. Преобладающими по максимальным уровням воды являются паводки летне-осеннего периода, обусловленные ливневыми дождями, режим которых определяется условиями муссонной циркуляции, циклонической деятельностью и характером рельефа бассейнов рек [2, 3].

Ущерб от больших и катастрофических наводнений, например, в Приамурье и Приморье, многократно превышает аналогичный показатель по Российской Федерации. Главная причина практически ежегодных многомиллиардных ущербов от наводнений заключается в высоком уровне хозяйственной освоенности паводкоопасных территорий и застройки пойм, в т. ч. в нижних бьефах плотин гидроэлектростанций.

При высоких и катастрофических наводнениях ущербы определяются не только природными факторами, но и антропогенными. При выдающихся и катастрофических паводках влияние антропогенных факторов на пропускную способность русел рек значительно усиливается за счет сужения русловой и пойменной частей участков рек в результате застройки поймы и устройства различного рода гидротехнических сооружений по берегам и в руслах. Антропогенная деятельность в русле и на пойме приводит к непредсказуемому росту уровня воды в реке и диктует необходимость пересмотра параметров как уже ранее построенных защитных сооружений, так и проектируемых. Увеличение высоты дамб влечет за собой существенные дополнительные затраты на их строительство. Примером может служить ситуация на Амуре в районе Хабаровского водного узла, где из-за хозяйственных мероприятий на пойме и в русле произошла существенная трансформация пропускной способности русла реки, что привело к подпорным явлениям и увеличило уровни воды, вызванные антропогенными факторами, в паводки 2013 г. и 2019 г. на 1,1 и 0,7 м соответственно [4].

Для минимизации ущербов от негативного воздействия вод должны разрабатываться специальные целевые бассейновые программы по защите территорий и нормативно-методические документы (рекомендации) по регулированию землепользования и застройки паводкоопасных территорий. Базой для разработки таких программ должны стать разработанные и утвержден-

<sup>2</sup> Соглашение между Правительством Российской Федерации и Правительством Китайской Народной Республики о рациональном использовании и охране трансграничных вод. Дата принятия 29 января 2008 г. Дата начала действия 23 мая 2008 г.

<sup>3</sup> Соглашение между Правительством Российской Федерации и Правительством Монголии по охране и использованию трансграничных вод. Дата начала действия 25 февраля 1997 г.

ные бассейновыми управлениями Федерального агентства водных ресурсов Схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов (СКИОВО), а для Приморского края также утвержденная Правительством РФ федеральная целевая программа «Защита от наводнений Приморского края» [2].

*Антропогенное загрязнение вод.* Качественный состав речных, озерных и морских вод ДФО, расположенных в зонах влияния населенных пунктов, местах размещения промышленных и сельскохозяйственных предприятий, морских портов по индексу загрязненности (ИЗВ) характеризуется в основном в интервале «умеренно-загрязненная» – «грязная» – «чрезвычайно-грязная». Особенно это характерно для отдельных участков некоторых средних и малых рек, протекающих в пригородных зонах или районах крупных промузлов, и прибрежных морских акваторий городов-портов.

Согласно РД.24.643-2002, классификация качества вод с использованием удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ) показывает, что практически для всех исследуемых водных объектов (с небольшим различием в отдельные годы) класс качества варьирует от «очень загрязненной» (3Б) до «грязной» (4А).

### **Обеспечение населения питьевой водой**

Данная проблема имеет преимущественно территориальный характер, но ряд ее аспектов (охрана водоисточников, мониторинг) требуют решения на бассейновом уровне. В ряде районов и населенных пунктов ДФО вопросы питьевого водоснабжения в отдельные периоды приобретают кризисный характер по причине дефицита водных ресурсов из-за неравномерного распределения поверхностного стока по сезонам года, периодической цикличности маловодных лет, слабого использования крупных месторождений подземных вод, удаленности подземных источников от потребителей, а также по причине антропогенного загрязнения источников питьевого водоснабжения и ухудшения качества воды в водохранилищах питьевого назначения.

Большая часть сельского населения ДФО снабжается питьевой водой из подземных источников. Более 50 % сел и рабочих поселков не имеют централизованного водоснабжения с совершенной водоподготовкой. Большинство городов и районных центров, где сосредоточено основное население, не обеспечены резервом питьевой воды на случай чрезвычайного положения [5, 6].

### **Охрана и восстановление прибрежных морских акваторий**

В ДФО расположены 26 морских портов, в т. ч. 9 городов-портов (Владивосток, Находка, Петропавловск-Камчатский, Корсаков, Невельск, Холмск, Николаевск на Амуре, Советская гавань, Анадырь). Одной из острейших социально значимых проблем городов-портов Дальнего Востока является охрана и восстановление прибрежных морских акваторий, степень загрязнения которых приводит к социальной напряженности и требует безотлагательным мер.

В настоящее время экологическая ситуация по отдельным заливам и бухтам приближается к критической и сопровождается снижением биопродуктивности морских акваторий, ухудшением потребительских качеств биоре-



сурсов, рекреационных и санитарных условий, что в конечном итоге снижает качество жизни населения. Основными загрязнителями прибрежных акваторий являются предприятия ЖКХ, водный транспорт, ливневой сток с урбанизированных территорий и привнос загрязняющих веществ впадающими в заливы реками.

Сложившаяся экологическая ситуация в немалой степени вызвана и отсутствием научно обоснованных рекомендаций, определяющих комплекс мер по регламентации возможных антропогенных нагрузок на прибрежные морские акватории. Для улучшения ситуации и недопущения ухудшения экологического состояния морских прибрежных акваторий необходима разработка методических рекомендаций по расчету нормативов допустимого воздействия по привносу химических и взвешенных веществ, оценке воздействия портовых сооружений на прибрежные морские акватории и разработка инструментария управления устойчивым развитием и экологическим благополучием морских прибрежных зон.

Дальневосточный филиал ФГБУ РосНИИВХ приступил к обоснованию и разработке научно-методических подходов по данной теме и к настоящему времени имеет определенные наработки, включая первую редакцию проекта «Методических рекомендаций по расчету нормативов допустимого воздействия по привносу химических и взвешенных веществ и оценке влияния портовых сооружений на прибрежные морские акватории» [7–9].

### **Трансграничное взаимодействие**

Особенностью ДФО является наличие границы между Россией, Китаем и Монголией. К сожалению, трансграничное взаимодействие государств в пределах бассейнов трансграничных рек в настоящее время недостаточно, межгосударственный обмен информацией по мониторингу состояния водных объектов ограничен, информация о проводимых водохозяйственных мероприятиях на сопредельных территориях практически недоступна.

Бассейны трансграничных рек обладают сложными природными условиями, богатым и разнообразным ресурсным потенциалом, значительная часть которого интенсивно осваивается. Обозначилась устойчивая тенденция ухудшения экологического состояния природной среды в этих бассейнах. Значительно сокращаются площади лесов, усиливаются эрозионно-дефляционные процессы, ухудшается качество вод, снижаются запасы биоресурсов, что свидетельствует об активизации процессов деградации природных комплексов.

У государств, расположенных в бассейнах трансграничных рек, существуют различные условия и потребности в воде, которые требуют разных специфических решений. Это разнообразие следует учитывать при планировании и реализации мер, направленных на обеспечение охраны и устойчивого использования водных ресурсов в рамках всего трансграничного бассейна, которые должны закрепляться межправительственным соглашением о рациональном использовании и охране трансграничных вод между сопредельными государствами. В настоящее время действует заключенное в мае 2008 г. Соглашение между Прави-

тельством Российской Федерации и Правительством Китайской Народной Республики о рациональном использовании и охране трансграничных вод и Соглашение между Правительством Российской Федерации и Правительством Монголии по охране и использованию трансграничных вод от 25 февраля 1997 г. <sup>2,3</sup>.

Несмотря на то, что с 2007 г. в бассейне Амура осуществляется совместный российско-китайский мониторинг качества вод и донных отложений трансграничных водных объектов, до сих пор наблюдается их загрязнение органическими веществами, тяжелыми металлами, нефтепродуктами и органическими соединениями. Донные отложения загрязнены свинцом, мышьяком и другими тяжелыми металлами.

Планы социально-экономического развития Северо-Восточного Китая, направленные на производство продовольствия, требуют увеличения водопотребления. В результате существенно возрастает проблема уменьшения стока с китайской части в реки Аргунь, Уссури, Амур и понижение их общей водности в засушливый период. КНР ускоряет освоение ресурсов трансграничных рек и расширяет огромные оросительные системы по берегам Амура и Уссури, включая переброску стока рек (например, р. Мулинхэ в оз. Малая Ханка и оз. Ханка) [10, 11]. Односторонняя несогласованная водохозяйственная деятельность КНР в прибрежной зоне негативно влияет на деформации левого (российского) берега русла р. Амур. Хозяйственная освоенность сопредельных территорий резко отличается: левый берег Амура мало заселен, берегоукрепления инженерного типа здесь практически отсутствуют. За пределами поселков (в пограничной зоне) наблюдается неуправляемый процесс разрушения береговой линии.

Правый (китайский) берег, более высокий, значительно освоен и обустроен. Береговая линия примерно на 70–80 % своей протяженности спланирована, укрепена каменной отмошкой на высоту паводка 2 % обеспеченности (норматив КНР к противопаводковым дамбам и сооружениям). Одностороннее берегоукрепление китайской стороной обеспечивает стабилизацию правого берега и создает благоприятные условия для развития деформаций неукрепленного левого берега и смещения к нему фарватера.

В последние годы процессы изменения климата проявляются в повышении вероятности возникновения экстремальных значений природных явлений и увеличения их амплитуды. Так, например, наводнения и засухи отмечаются чаще, при этом максимумы паводков и пирогенность (пожароопасность) увеличиваются. Для планирования мер по смягчению последствий изменения климата и адаптации к ним необходима разработка общих управленческих решений по внедрению плановых мероприятий, которые могут быть оптимизированы только на основе долгосрочного прогнозирования. Основой улучшения состояния природной (водной) среды должна стать разработка согласованной межгосударственной стратегии экологически адаптированного управления водно-ресурсным потенциалом трансграничных водных объектов [12].

Что касается управления водопользованием трансграничных водных объектов, можно выделить следующие основные недостатки:

– информация о состоянии водных ресурсов и экосистем трансграничных водных объектов рассредоточена по различным ведомствам, имеет различную точность и качество, она часто недоступна и не соответствует принципам экосистемного подхода;

– не разработан механизм взаимодействия территорий РФ и сопредельных государств по вопросам водопользования, охране и восстановлению водных экосистем; отсутствуют целевые критерии качественных и количественных показателей водных объектов в граничных створах, не разработана программа действий по их достижению;

– недостаточно используются современные региональные научно обоснованные методы решения водохозяйственных проблем.

### **Актуальные вопросы управления водопользованием**

Управление водохозяйственной деятельностью предполагает планирование и координацию действий, направленных на реализацию положений концепции оптимального бассейнового водопользования, которая включает:

– снижение антропогенного воздействия на водные объекты до устойчиво безопасного экологического состояния и его стабилизацию;

– обеспечение водопотребления с учетом интересов различных отраслей и производств;

– защиту от негативного воздействия вод, в т. ч. на зарегулированных водохранилищами водных объектах;

– реализацию бассейнового принципа управления водопользованием на основе экосистемного подхода.

Необходимыми элементами современной системы управления водопользованием являются:

– осуществление мониторинга объектов управления;

– нормативно-правовые аспекты эффективной водохозяйственной деятельности;

– программы строительства и эксплуатации объектов, обеспечивающих оптимальные режимы водопользования.

В настоящее время вышеперечисленные элементы системы управления водопользованием обладают теми или иными недостатками, в т. ч. такими, как отсутствие концепции и программы бассейнового мониторинга состояния водных экосистем.

Ключевые направления эффективного взаимодействия участников водных отношений были сформулированы в ФЦП «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012–2020 годах» и в «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года», а потребность в водных ресурсах с учетом социально-экономического развития территорий ДФО до 2025 г. – в разработанных СКИОВО (включая НДВ) бассейнах основных рек, как инструмента среднесрочного и долгосрочного планирования (размещены на сайтах Амурского и Ленского БВУ).

Острота и сложность перечисленных выше проблем определяют единственный путь их решения – программно-целевой. Технология программ-

но-целевого метода при решении социально-экологических водных проблем должна включать следующие структурные блоки:

- анализ водно-ресурсного потенциала и состояния водохозяйственных объектов;
- разработку научно-методической базы для обоснования и выбора оптимальных вариантов решения водохозяйственных проблем;
- разработку программных мероприятий.

Одним из основных требований к программе является системность предполагаемых действий, которая заключается в единстве и обоснованности эколого-экономического и инженерно-технического содержания всего комплекса намеченных работ, взаимосвязанности технических, экономических и экологических параметров их реализации. Системный характер программы подразумевает также комплексную оценку влияния на водные объекты (ресурсы) всех элементов окружающей среды, в т. ч. сочетание административно-территориальных хозяйственных интересов различных категорий водопользователей с требованиями охраны водных ресурсов, определение допустимых антропогенных нагрузок на водные объекты и обеспечение взаимосвязанности всего комплекса мер [13].

Основываясь на методологии программно-целевого подхода, научным коллективом ДальНИИВХ совместно с научно-исследовательскими и проектными организациями в разные годы были разработаны федеральная и ряд региональных целевых программ развития водохозяйственного комплекса ДФО.

Как было отмечено, социально-экономическое развитие субъектов ДФО, хозяйствующих в бассейнах пресноводных водных объектов и морских акваториях, невозможно без решения вопросов водохозяйственного устройства их территорий. После ликвидации Министерства мелиорации и водного хозяйства СССР (1990 г.), управление водохозяйственной деятельностью в стране было возложено на Комитет по водному хозяйству при Совете Министров РСФСР (Роскомвод). Во исполнение Постановления Совета Министров РСФСР от 16 ноября 1990 г. «По вопросам Комитета по водному хозяйству при Совете Министров РСФСР» и с целью дальнейшего развития научных исследований по созданию механизма государственного управления водными ресурсами, разработки и внедрения современных научно обоснованных принципов и методов планирования и управления использованием и охраной водных ресурсов по ходатайству к Совету Министров РСФСР от Совета народных депутатов Приморского края о необходимости создания на Дальнем Востоке структурного подразделения водохозяйственного профиля 10 июня 1991 г. на базе Уральского НИИ комплексного использования и охраны водных ресурсов был создан Дальневосточный (ДальНИИВХ) филиал в г. Владивостоке. В зону деятельности ДальНИИВХ вошли Приморский, Хабаровский, Камчатский края, Еврейская автономная область, Амурская, Сахалинская, Магаданская области. В этом же году был создан и Восточный филиал (ВостокНИИВХ) с зоной деятельности, включающей Иркутскую область, Республику Бурятия, Саха (Якутию), Читинскую область (Забайкальский край).

В связи с развитием сети научных подразделений УралНИИВХ по территории РФ, 20.11.1991 г. за № 99 был издан Приказ Председателя комитета по водному хозяйству при Совете министров РСФСР Н.Н. Михеева о переименовании УралНИИВХ с его многочисленными филиалами в Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов (РосНИИВХ).

Для решения актуальных водохозяйственных проблем Дальневосточного региона в ДальНИИВХ были созданы отделы моделирования гидрологических процессов, прогнозов наводнений, водохозяйственных гидротехнических сооружений, геоинформационных технологий, страхования водохозяйственных рисков, проблемная бассейновая водохозяйственная лаборатория и отдел водоснабжения и водоотведения. Для решения водохозяйственных проблем региона ДальНИИВХ наладил плодотворное сотрудничество с Амурским бассейновым водным управлением, институтами Дальневосточного отделения Российской академии наук, крупнейшими отраслевыми институтами и вузами Дальнего Востока, Дальневосточным и Приморским УГМС, ведущими специалистами водохозяйственной отрасли России, администрациями городов и поселений региона.

На региональном уровне необходимо было сосредоточить усилия коллектива на выполнении задач первостепенной важности – защите территорий от негативного воздействия вод, устранении дефицита воды питьевого качества, безопасности гидротехнических сооружений, нейтрализации последствий трансграничных воздействий на водные объекты, организации полноценного мониторинга водных систем и восстановлении деградирующих водных объектов. Именно решением этих задач с момента организации занимался и продолжает заниматься коллектив Дальневосточного филиала РосНИИВХ.

Деятельность научного коллектива, в первую очередь, была направлена на разработку федеральных и региональных программ и нормативно-правовых документов в сфере водопользования, а также на разработку Схем комплексного использования и охраны водных объектов и нормативов допустимого воздействия (НДВ). Научным коллективом ДальНИИВХ с участием научно-исследовательских и проектных организаций Дальнего Востока разработаны, прошли экспертизы и утверждены федеральными органами:

- Отраслевая программа «Использование и охрана водных ресурсов Дальнего Востока», 1991 г.;
- Федеральная целевая программа «Защита от наводнений населенных пунктов, народно-хозяйственных объектов, сельскохозяйственных и других ценных земель в Приморском крае на 1995–2000 годы», 1995 г.;
- «Положение по регулированию хозяйственной деятельности на территориях Приморского края, подверженных наводнениям», 1996 г.;
- Региональная целевая программа «Обеспечение населения Приморского края питьевой водой», 2000 г. Программа выполнялась как региональный раздел федеральной целевой программы «Обеспечение населения России питьевой водой»;

- Закон Приморского края «О питьевом водоснабжении», 2002 г.;
- Программа «Охрана и восстановление водных объектов Приморского края», 2005 г.;
- Региональная целевая программа «Комплексное использование и охрана водных ресурсов Камчатской области», 2006 г.

За период с 2006 по 2008 годы выполнен ряд НИР и разработаны проекты следующих нормативно-методических документов:

- Научное обоснование методов обеспечения устойчивого и безопасного функционирования водохозяйственного комплекса Среднего и Нижнего Амура и рек юга Приморского края»;
- Методика долгосрочного прогноза наводнений с использованием аналоговой модели и оценка последствий их прохождения;
- Нормативы предельно допустимых вредных воздействий (ПДВВ) по химическим веществам на участках р. Амур с учетом трансграничного загрязнения;
- Методики квотирования уровня негативного воздействия загрязнений в створах трансграничных водотоков на границе с КНР.

За этот же период ДальНИИВХ в творческом сотрудничестве с академическими и отраслевыми институтами разработаны проекты нормативно-методических и нормативно-правовых документов, направленных на решение первоочередных задач эффективного управления водохозяйственной деятельностью и защиты населения от негативного воздействия вод:

- Территориально-строительные нормы «Незатопляемые дамбы обвалования для инженерной защиты территорий от наводнений в условиях муссонного климата юга Дальнего Востока»;
- Схема сверхдолгосрочного прогноза наводнений на реке Амур;
- Методика и пакет нормативно-правовых документов страхования от наводнений;
- Положение о регулировании хозяйственной деятельности на территориях, подверженных периодическому воздействию наводнений;
- Пособие по гидрологическим расчетам для проектирования водохозяйственных объектов;
- Пособие по гидрологическому обоснованию и расчету сезонной емкости водохранилищ.

Большинство из перечисленных проектов нормативно-методических и нормативно-правовых документов имеют не только региональный, но и межрегиональный характер и могут быть использованы в других субъектах Российской Федерации с аналогичными целевыми задачами в области водного хозяйства.

С 2008 по 2014 годы ДальНИИВХ являлся ответственным исполнителем по разработке проектов СКИОВО, включая НДВ, по бассейнам рек Дальнего Востока: Амур (российская часть); рекам бассейна Японского моря и Камчатки, бассейну р. Анадырь.

С 2015 по 2021 годы ДальНИИВХ работал над выполнением государственно-го задания для обеспечения деятельности Амурского БВУ по следующим НИР:

– «Информационное сопровождение гидродинамической модели распространения паводочной волны в основном русле реки Амур (среднее и нижнее течение)»;

– «Информационное обеспечение процедуры предоставления прав пользования акваториями морских водных объектов по зоне деятельности Амурского БВУ»;

– «Разработка научно обоснованных показателей допустимых воздействий на водные объекты прибрежных морских акваторий».

В январе 2021 г. научному коллективу ДальНИИВХ было поручено подготовить технические задания НИР, рекомендуемые Амурским бассейновым Советом, по следующим темам:

– Информационно-аналитическое сопровождение деятельности Амурского БВУ и Межведомственной рабочей группы по регулированию режимов работы Бурейского, Нижне-Бурейского и Зейского водохранилищ;

– Разработка информационно-аналитической системы поддержки комплексного водопользования в зоне деятельности Амурского бассейнового водного управления на основе интегрированного подхода использования пространственных данных;

– Исследование и оценка трансграничных водно-экологических проблем российской части бассейна р. Амур (включая оз. Ханка) и рек бассейна Японского моря с разработкой предложений по минимизации трансграничных воздействий сопредельных территорий на водные объекты;

– Исследование последствий повышения уровня воды трансграничного оз. Ханка на прибрежную часть российской территории с целью минимизации причиняемых ущербов;

– Разработка научно обоснованных показателей допустимых воздействий на водные объекты прибрежных морских акваторий (на примере залива Петра Великого (Приморский край)) и рекомендаций по снижению негативного антропогенного воздействия.

Ранее значительная часть этих работ выполнялась ДальНИИВХ по внутреннему плану института, а с 2021 г. эти темы вошли в раздел «Научно-аналитическое обеспечение деятельности территориальных органов Росводресурсов». Эти работы необходимо продолжить в полномасштабном объеме для решения социально-экологических водных проблем ДФО, завершения разработанных ранее проектов нормативно-методических документов, направленных на охрану и рациональное использование водных объектов и минимизацию негативного воздействия вод.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как отмечено в данной статье, социально-экономическое развитие субъектов Дальневосточного федерального округа, хозяйствующих в бассейнах пресноводных водных объектов и морских прибрежных акваториях, невозможно в отрыве от решения проблем водохозяйственного устройства территорий, а также от решения межгосударственных вопросов охраны и использования

трансграничных водных объектов. Все эти вопросы не могут быть решены без должного научного обоснования и разработки методических подходов и рекомендаций, учитывающих региональные особенности режима водных объектов Дальнего Востока.

В статье акцентируется внимание на работах, выполненных научным коллективом ДальНИИВХ, в основу которых положен программно-целевой подход к решению водохозяйственных проблем в Дальневосточном федеральном округе. Для решения задач эффективного управления водохозяйственной деятельностью и защиты населения от негативного воздействия вод в современных условиях рекомендуется завершить разработанные ранее ДальНИИВХ проекты нормативно-методических и нормативно-правовых документов, а также продолжить исследования по незавершенным НИР с выходом нормативно-методических рекомендаций по выполняемым государственным заданиям.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бортин Н.Н. Состояние водохозяйственного комплекса и социально-экологические водные проблемы в бассейне реки Амур // Мат-лы Второго Дальневосточного международного экономического форума. Т. 9. Экология бассейна реки Амур – безопасность жизнедеятельности стран Азиатско-тихоокеанского региона. С. 20–24.
2. Балябин В.Ф., Амачаев В.П., Бортин Н.Н. и др. Защита от наводнений населенных пунктов, народнохозяйственных объектов, сельскохозяйственных и других ценных земель в Приморском крае на 1995–2000 годы /Федеральная целевая программа. Владивосток, 1996. 83 с.
3. Федоровский А.С., Бортин Н.Н., Горчаков А.М., Милаев В.М. Ливневые дожди как фактор наводнений в Приморском крае // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2019. № 4. С. 144–168.
4. Бортин Н.Н., Милаев В.М., Горчаков А.М. Влияние природных и антропогенных факторов на пропускную способность русла реки Амур у города Хабаровска при прохождении паводков // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2020. № 2. С. 66–82. DOI: 10.35567/1999-4508-2020-2-5.
5. Бортин Н.Н. и др. Проблемы обеспечения населения Приморского края питьевой водой и пути их решения (региональная целевая программа «Обеспечение населения Приморского края питьевой водой»). Владивосток: Дальнаука, 2000. 389 с.
6. Бортин Н.Н., Горчаков А. М. Создание резервов питьевой воды в Приморском крае на период чрезвычайных ситуаций (ЧС) // Мат-лы III Межд.о экологического форума «Природа без границ», 12–13 ноября 2008 г., Владивосток. С. 196–197.
7. Бортин Н.Н., Милаев В.М., Горчаков А.М. Обоснование научно-методических подходов к определению нормативов допустимых воздействий на прибрежные морские акватории. // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2017. № 6. С. 86–95. DOI: 10.35567/1999-4508-2017-6-7.
8. 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 межд. симпозиума «Чистая вода России», 17–20 мая 2021 г., Екатеринбург. С. 4–14.
9. Бортин Н.Н., Дьяченко К.Н., Зверев А.В., Спасивцева Е.Е. Оценка воздействия портовых сооружений на прибрежные морские акватории (на примере залива Петра Великого Японского моря) // Сб. докладов XVI межд. симпозиума «Чистая вода России», 17–20 мая 2021 г., Екатеринбург. С. 15–21.
10. Каракин В.П. Трансграничное водопользование на Амуре – конкуренция и сотрудничество // Экологические риски российско-китайского трансграничного сотрудничества: от «коричневых» планов к «зеленой» стратегии. Москва – Владивосток – Харбин: WF, 2010. С. 84–93.



11. Бортин Н.Н., Горчаков А.М. Причины экстремально высокого уровня воды трансграничного озера Ханка. // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2016. № 4. С. 62–84. DOI: 10.35567/1999-4508-2016-4-5.
12. Макаров А.В., Бортин Н.Н., Милаев В.М. Бассейн реки Амур: трансграничные водно-экологические проблемы // Мат-лы Всеросс. научно-практ. конф. с международным участием «Трансграничные водные объекты: использование, управление, охрана». г. Сочи, 20–25 сентября 2021 г. С. 265–269.
13. Бортин Н.Н. Социально-экологические водные проблемы юга Дальнего Востока и программно-целевой подход к их решению: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. 2001 г., Екатеринбург. 46 с.

## REFERENCES

1. Bortin N.N. State of water/economic complex and social/ecological water problems in the Amur River basin. Materialy Vtorogo Dalnevostochnogo mezhdunarodnogo ekonomicheskogo foruma. T. 9. Ekologiya basseyna reki Amur – bezopasnost zhiznedeyatelnosti stran Aziatsko-tikhookeanskogo regiona [*Proceedings of II Far Eastern International Economic Forum. V. 9. Ecology of the Amur River basin and safety of vital activities of the countries of the Asian-Pacific Region*]. P. 20–24.
2. Balyabin V.F., Amachaev V.P., Bortin N.N. et al. Flood-protection of inhabited locations, economic enterprises, agricultural and other developed lands in Maritime Kray for 1995–2000. Federalnaya tselevaya programma [*Federal targeted program*]. Vladivostok, 1996. 83 p.
3. Fedorovskiy A.S., Bortin N.N., Gorchakov A.M., Milayev V.M. Rain storms as a flood factor in Maritime Kray. Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management. 2019. No. 4. P. 144–168.
4. Bortin N.N., Milayev V.M., Gorchakov A.M. Natural and anthropogenic factors influence on the Amur River channel passage ability near Khabarovsk during floods. Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management. 2020. No. 2. P. 66–82. DOI: 10.35567/1999-4508-2020-2-5.
5. Bortin N.N. et al. Problems of water supply for the Maritime Kray population and the ways of their solution (“Drinking water supply for the Maritime Kray population” regional targeted program). Vladivostok: Dalnauka, 2000. 389 p.
6. Bortin N.N., Gorchakov A.M. Accumulation of drinking water reserves in Maritie Kray for a period of emergencies. Materialy III Mezhdunarodnogo elogicheskogo foruma “Priroda bez granits”, 12–13 noyabrya 2008 g., [*Proceedings of III International Ecological Forum “Nature without Frontiers”, November, 12-13, 2008*]. Vladivostok. P. 196–197.
7. Bortin N.N., Milayev V.M., Gorchakov A.M. Justification of scientific/methodical approaches to determination of norms of permissible impacts (NPI) on marine offshore water areas. Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management. 2017. No. 6. P. 86–95. DOI: 10.35567/1999-4508-2017-6-7.
8. Bortin N.N., Gorchakov A.M., Milayev V.M., Belebtsov A.A. Methodic approaches to determination of NPI in terms of chemical and suspended matters on marine offshore water areas (some bights of the Sea of Japan Bay of Peter the Great as study cases). Sbornik dokladov XVI mezhd. simpoziuma “Chistaya voda Rossiya”, 17–20 maya 2021 g. [Proceedings of XVI international symposium “Clear Water of Russia”, May 17-20, 2021]. Ekaterinburg. P. 4 – 14.
9. Bortin N.N., Dyachenko K.N., Zverev A.V., Spesivtseva E.E. Assessment of the port facilities impact on marine offshore water areas (the Sea of Japan Bay of Peter the Great as study case). Sbornik dokladov XVI mezhd. simpoziuma “Chistaya voda Rossiya”, 17–20 maya 2021 g. [Proceedings of XVI international symposium “Clear Water of Russia”, May 17-20, 2021]. Ekaterinburg. P. 15–21.
10. Karakin V.P. Transboundary water use on the Amur River: competition and collaboration. Ecological risks of Russian-Chinese transboundary cooperation: from “Brown” plans to the “Green” strategy of Moscow. Moscow – Vladivostok – Harbin: WF, 2010. P. 84–93.
11. Bortin N.N., Gorchakov A.M. Causes of the transboundary Lake Hanka extremely high water level. Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management. 2016. № 4. С. 62–84. DOI: 10.35567/1999-4508-2016-4-5.

12. Makarov A.V., Bortin N.N., Milayev V.M. The Amur River basin: transboundary water/ecological problems. Materialy Vseross. nauchno-prakt. konf. s mezhdunarodnym uchastiem "Transgranichniye vodniye obyekty: ispolzovaniye, upravleniye, okhrana" g. Sochi, 20–25 sentyabrya 2021 g. [Proceedings of All-Russian scientific-practical international conference "Trasboundary water bodies: usage, management, and protection", Sochi, September, 20-25, 2021] P. 265–269.
13. Bortin N.N. Social/ecological water problems of the Far East southern part and program-targeted approach to their solution: abstract of doctoral thesis on geographical sciences. 2001. Ekaterinburg. 46 p.

**Сведения об авторе:**

**Бортин Николай Николаевич**, д-р геогр. наук, руководитель филиала, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Дальневосточный филиал, Россия, 690002, Владивосток, а/я 124, Некрасовская 53 Б; ORCID 0009-0007-5180-6249; e-mail: nbortin@mail.ru

**About the author:**

**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; ORCID 0009-0007-5180-6249; e-mail: nbortin@mail.ru

## Разработка гидродинамической модели р. Вага для решения задач защиты населенных пунктов от затопления

С.А. Мирошниченко<sup>1</sup>  , А.И. Лучников<sup>1,2</sup> , С.А. Лепешкин<sup>1</sup> ,  
А.А. Тиунов<sup>2</sup> 

 kama2100@mail.ru

<sup>1</sup> ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал, г. Пермь, Россия

<sup>2</sup> Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, г. Пермь, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** Населенные пункты, расположенные в пойме р. Вага (в среднем и нижнем течении) при прохождении весеннего половодья подвергаются периодическому затоплению. В результате затопления наносится значительный материальный ущерб жилой застройке и объектам экономики, подвергаются серьезному риску жизни людей. **Методы.** Для решения задач защиты населенных пунктов от затопления разработана с использованием программной среды HEC-RAS гидродинамическая модель р. Вага (на участке реки от села Верховажье до ее устья). Сформирована единая база данных картографической и гидрологической информации, выполнено компьютерное моделирование. **Результаты.** Разработанная гидродинамическая модель р. Вага позволила рассчитать наивысшие уровни воды для 1 % обеспеченности в населенных пунктах, не охваченных гидрологическими наблюдениями на стационарных постах Росгидромета. Полученные результаты расчета будут использованы в дальнейшем для разработки научно обоснованных рекомендаций по защите населенных пунктов от затопления.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** р. Вага, затопление населенных пунктов, гидродинамическая модель, компьютерное моделирование.

**Для цитирования:** Мирошниченко С.А., Лучников А.И., Лепешкин С.А., Тиунов А.А. Разработка гидродинамической модели р. Вага для решения задач защиты населенных пунктов от затопления // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2024. № 4. С. 73–86. DOI:10.35567/19994508-2024-4-73-86.

Дата поступления 21.06.2024.

### DEVELOPMENT OF A HYDRODYNAMIC MODEL OF THE VAGA RIVER TO SOLVE THE PROBLEMS OF PROTECTING SETTLEMENTS FROM FLOODING

Sergei A. Miroshnichenko<sup>1</sup>  , Anton I. Luchnikov<sup>1,2</sup> , Sergei A. Lepeshkin<sup>1</sup> ,  
Alexey A. Tiunov<sup>2</sup> 

 kama2100@mail.ru

<sup>1</sup> Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection Kama Branch, Perm, Russia

<sup>2</sup> Perm Federal Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

© Мирошниченко С.А., Лучников А.И., Лепешкин С.А., Тиунов А.А. 2024

**ABSTRACT**

**Relevance.** Settlements located in the floodplain of the Vaga River (in the middle and lower reaches) are periodically flooded during the passage of the spring flood. As a result, of flooding, serious material damage is caused to residential buildings and economic facilities, and people's lives are at serious risk. **Methods.** To solve the problems of protecting settlements from flooding, we have developed a hydrodynamic model of the Vaga River (on the section of the river from the village of Verkhovazhye to its mouth) using the HEC-RAS software environment. A unified database of cartographic and hydrological information has been formed, and computer modeling has been performed. **Results.** The developed hydrodynamic model of the Vaga River made it possible to calculate the highest water levels for 1% availability in settlements not covered by hydrological observations at stationary posts of Roshydromet. The obtained calculation results will be further used to develop scientifically based recommendations for the protection of human settlements

**Keywords:** Vaga River, flooding of settlements, hydrodynamic model.

**For citation:** Miroshnichenko S.A., Luchnikov A.I., Lepeshkin S.A., Tiunov A.A. Development of a hydrodynamic model of the Vaga River to solve the problems of protecting settlements from flooding. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2024. No. 4. P. 73–86. DOI:10.35567/19994508-2024-4-73-86.

Received 21.06.2024.

**ВВЕДЕНИЕ**

В соответствии с Водным кодексом Российской Федерации<sup>1</sup> затопление, вместе с подтоплением и разрушением берегов, входит в перечень негативного воздействия вод. Под затоплением на основе определений, данных в СП 116.13330.2012, понимается образование свободной поверхности воды на участке территории в результате повышения уровня водного объекта. В соответствии со статьей 67.1 Водного кодекса Российской Федерации<sup>1</sup> в границах зон затопления запрещается строительство объектов капитального строительства, не обеспеченных сооружениями и (или) методами инженерной защиты территорий и объектов от негативного воздействия вод. Установление зон затопления и подтопления является специальным защитным мероприятием и осуществляется для предотвращения негативного воздействия вод и ликвидации его последствий. Порядок установления, изменения и прекращения существования зон затопления, подтопления определен Постановлением Правительства Российской Федерации от 18 апреля 2014 г. № 360 «О зонах затопления, подтопления»<sup>2</sup>.

Временные затопления населенных пунктов, расположенных в пойменной части рек на незарегулированных участках, наиболее часто происходят в результате подъема уровня вод в период прохождения весеннего половодья. Особенно актуальна эта проблема для северных территорий нашей страны, в т. ч. и для населенных пунктов, расположенных в пойме р. Вага, которые за последние 10 лет не раз подвергались сильному затоплению.

Для предотвращения негативного воздействия вод на участке р. Вага от с. Верховажье до ее устья по заданию Двинско-Печерского БУ Камский фили-

<sup>1</sup> Водный кодекс Российской Федерации. № 74-ФЗ (ред. от 25.12.2023) (с изм. и доп., вступ. в силу с 30.12.2023). Режим доступа: [garant.ru](http://garant.ru) (дата обращения: 02.02.2024).

<sup>2</sup> Постановление Правительства РФ от 18.04.2014 № 360 (ред. от 17.08.2022) «О зонах затопления, подтопления» (вместе с «Положением о зонах затопления, подтопления»).

ал ФГБУ РосНИИВХ выполняет научно-исследовательскую работу, связанную с разработкой научно обоснованных рекомендаций, включая противопаводковую защиту населенных пунктов и объектов экономики.

### ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Административно р. Вага протекает по территории двух субъектов Российской Федерации – Вологодской и Архангельской областей. Река Вага является одним из крупных притоков первого порядка Северной Двины, впадает в нее с левого берега на расстоянии 315 км от устья. Общая длина реки составляет 575 км (протяженность на исследуемом участке в нижнем и среднем течении – 410 км), площадь всего бассейна 44 800 км<sup>2</sup> (площадь бассейна исследуемого участка – 42 750 км<sup>2</sup>). Пойма реки на всем протяжении преимущественно двусторонняя. Пойменные берега невысокие, покрыты лугами и кустарником.

Гидрологический режим водотока типичен для равнинных рек центральной части Европейской территории России, для которых характерно смешанное питание с преобладанием снегового. Режим отличается высоким весенним половодьем, низкой летне-осенней меженью, прерываемой дождевыми паводками, и устойчивой продолжительной зимней меженью. Основной фазой водного режима водотоков является весеннее половодье, на которое приходится в среднем 60–70 % годового стока. Весеннее половодье проходит преимущественно одной волной с небольшими пиками на спаде, вызванными дождевыми паводками. В условиях дружного снеготаяния половодье характеризуется большой интенсивностью подъема и спада воды. Подъем уровней воды начинается в середине апреля, происходит быстро и интенсивно, его продолжительность составляет в среднем одну треть общей продолжительности половодья [1]. Пик половодья проходит чаще в первой декаде апреля (половодье, как правило, однопиковое). Наивысшие уровни весеннего половодья являются наивысшими в году. Спад половодья происходит менее интенсивно, чем подъем, быстрое падение уровня наблюдается в первые дни после пика, затем интенсивность спада уменьшается. Весеннее половодье продолжается до 1–1,5 месяцев.

Для р. Вага значительное повышение уровня воды в период прохождения весеннего половодья, прежде всего, связано с большим количеством снегозапасов, накопленных в холодный период и дружностью снеготаяния, а также наличием заторных явлений, характерных для многоводных северных рек, текущих с юга на север. Заторы льда формируют самые опасные и повторяющиеся наводнения. Они усиливают подъем уровня в русле, что способствует выходу речных вод на пойму и затоплению расположенных на ней объектов. Интенсивный ледоход, навалы льда на берегах, давление ледяных масс на сооружения приводят к значительному материальному ущербу, причиняемому населенным пунктам.

На рассматриваемой территории в пределах исследуемого участка р. Вага действуют гидрологические посты ФГБУ «Северное УГМС». Основные характеристики гидрологических постов представлены в табл. 1, их местоположение – на рис. 1.

**Таблица 1.** Основные характеристики гидрологических постов на р. Вага  
 Table 1. Main characteristics of hydrological posts on the Vaga River

Код поста	Местоположение поста	Период действия		Расстояние от устья, км	«0» поста, м БС
		открыт	закрыт		
70274	р. Вага – с. Верховажье	1994 г.	действ.	408	79,49
70275	р. Вага – д. Филяевская	1937 г.	действ.	349	59,72
70598	р. Вага – пос. Пасьва	1981 г.	действ.	242	41,72
70281	р. Вага – г. Шенкурск	1914 г.	действ.	158	30,46
70284	р. Вага – с. Усть-Сюма	1956 г.	действ.	57	18,53

Расположение населенных пунктов по длине р. Вага, подвергающихся периодическому затоплению представлено на рис. 1. Данный перечень составлен на основе запросов в муниципальные образования и МЧС Вологодской и Архангельской областей, а также по данным ФГБУ «Северное УГМС».

Перечень включает 47 населенных пунктов (рис. 1), 3 из которых расположены на территории Вологодской обл. и 44 – в Архангельской обл. Наиболее крупными населенными пунктами на исследуемом участке являются по данным за май 2024 г.: г. Вельск (21 613 чел.), с. Верховажье (6130 чел.), с. Благовещенское (993 чел.), с. Ровдино (968 чел.). В остальных населенных пунктах численность населения – до 500 чел. Общая численность населения в обследуемых населенных пунктах – порядка 32,8 тыс. чел.

В ходе выполнения научно-исследовательской работы на первом этапе был проведен комплекс инженерно-геодезических и инженерно-гидрологических изысканий. Как и для выполнения работ на р. Печоре [2, 3], активно использовалось современное геодезическое оборудование и беспилотные летательные аппараты (БПЛА). В дальнейшем при камеральной обработке материалов изысканий на р. Вага были получены необходимые для расчета зон затопления подробные ортофотопланы территории жилой застройки и цифровые модели рельефа (ЦМР).

На следующем этапе выполнен анализ условий формирования наивысших уровней воды, включающий расчеты обеспеченных значений уровней и расходов воды с приведением рядов наблюдений к единому многолетнему периоду 1938–2022 гг. в соответствии с положениями<sup>3</sup>. Проведен анализ ледового режима периода вскрытия за годы с отмеченными заторными явлениями с целью выявления заторообразующих факторов и общего вклада заторов в формирование экстремально высоких уровней воды. Как показал проведенный анализ формирования экстремальных уровней р. Вага, заторные подъемы уровней воды на реке невелики относительно уровней воды весеннего половодья и, как правило, формируются на ветви подъема весеннего половодья.

<sup>3</sup> СП 529.1325800.2023. Свод правил. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. (утв. и введен в действие Приказом Минстроя России от 11.09.2023, № 654/пр).



**Рис. 1.** Картограмма расположения населенных пунктов и гидрологических постов ФГБУ «Северное УГМС» на р. Вага.

Fig. 1. Schematic map of the location of settlements and hydrological posts of the Federal State Budgetary Institution «Severnoye UGMS» on the Vaga River.

Разреженная сеть гидрологических постов Росгидромета в бассейне р. Вага (рис. 1) и, как следствие, малый охват территории гидрометрическими наблюдениями сказываются на качестве гидрологических прогнозов, оценке локальных факторов формирования высших уровней воды. Использование гидродинамического моделирования для решения задач построения зон затопления представлено в работах [4–9].

Для улучшения качества прогностических материалов возникает необходимость в комплексном подходе, объединяющем как материалы фактических наблюдений и изысканий, так и применение такого научно-исследовательского метода, как гидродинамическое моделирование. Данный подход был использован для выполнения подобной работы в 2022 г. для р. Печоры. Научно-исследовательская работа по р. Печоре принята на Научно-техническом совете Двинско-Печорского БУ, на нее получено положительное экспертное заключение РАН за №2472023/2230616000-10.

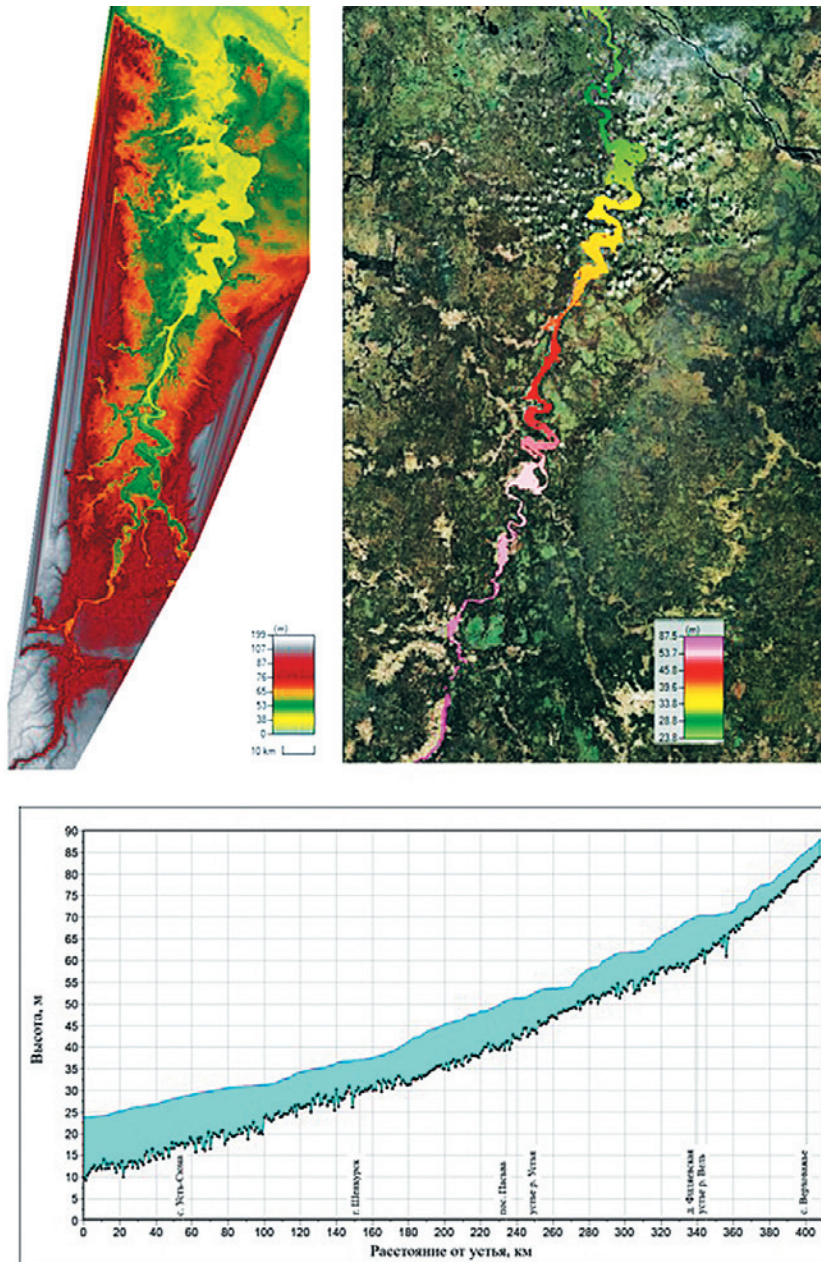
На основе полученных во время выполнения работ по р. Печоре наработок была разработана численная гидродинамическая модель исследуемого участка р. Вага протяженностью 410 км в одномерной постановке с использованием программного комплекса HEC-RAS ver. 6.3.1<sup>4</sup>. Данный программный комплекс широко применяется в нашей стране и за рубежом, опыт его использования Камским филиалом ФГБУ РосНИИВХ представлен в работах [10–13]. Программный продукт HEC-RAS предназначен для описания гидродинамических процессов русловых потоков и основан на решении системы уравнений Сен-Венана в одномерной постановке. При этом, исходя из особенностей постановок, могут решаться как нестационарные, так и стационарные задачи. Вид на цифровую модель рельефа района работ на р. Вага в программном комплексе HEC-RAS представлен на рис. 2.

Для гидродинамической модели р. Вага в одномерной постановке построено 409 поперечных сечения по всей длине водотока с шагом примерно в 1 км (рис. 2). Для корректного задания морфометрии реки на участке от впадения в Северную Двину на территории Архангельской обл. до д. Большое Ефимово Вологодской обл. для рассматриваемого водного объекта построена цифровая модель рельефа дна водотока. В целях производства корректных расчетов кривой свободной поверхности была выполнена калибровка модели по расходам и уровням воды разных обеспеченностей по трем гидрологическим постам на р. Вага (с. Верховажье, д. Филяевская, с. Усть-Сюма). По двум гидрологическим постам (пос. Пасьва, г. Шенкурск) при калибровке модели использованы расчетные обеспеченные значения уровней воды.

Калибровка гидродинамической модели выполнена с приемлемой точностью на основе проверки рассчитанных и фактических отметок уровней воды, фиксируемых на стационарных постах сети ФГБУ «Северное УГМС». В табл. 2 приведены результаты сопоставления значений расчетных уровней воды различных обеспеченностей, полученных по итогам гидродинамического моделирования на оттарированной модели р. Вага и по результатам статистической обработки рядов гидрометрических наблюдений на гидрологических постах ФГБУ «Северное УГМС».

<sup>4</sup> HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual (CPD-69) / Gary W. Brunner, Version 6.2, Exported - December 2022. 464 p.





**Рис. 2.** Вид на цифровую модель рельефа р. Вага на участке реки от с. Верховажье до устья в программном комплексе HEC-RAS и результаты расчета кривой свободной поверхности при прохождении весеннего паводка 1 % обеспеченности.

Fig. 2. View of the digital relief model of the Vaga River on the section of the river from the village of Verkhovazh'ye to its mouth in the HEC-RAS software package and the results of calculating the curve of the free surface during the passage of the spring flood of 1% security.

**Таблица 2.** Сопоставление расчетных данных, результатов моделирования и фактических значений уровня воды при верификации на р. Вага при разной обеспеченности

Table 2. Comparison of the calculated values obtained from the simulation results and the actual values of the water level during verification on the Vaga River with different probability

Расчетный и фактический уровень воды, м БС						
Расчетный створ	Уровень воды	Обеспеченность (P), %				
		1	2	3	5	10
Гидропост р. Вага – пос. Пасьва	расчетный	50,78	50,48	50,25	49,98	49,58
	фактический	50,78	50,51	50,26	50,01	49,61
Гидропост р. Вага – г. Шенкурск	расчетный	37,10	36,92	36,75	36,54	36,25
	фактический	37,10	36,94	36,79	36,60	36,36

Из данных табл. 2 следует, что максимальное отклонение между расчетным и фактическим уровнем составляет не более 0,11 м, среднее – 0,03 м. Результаты проведенной калибровки модели (табл. 2) показали соответствие измеренных и рассчитанных по модели кривых свободной поверхности, учитывая некоторую осредненность двухсрочных измерений уровней воды, и свидетельствуют о том, что подобранные значения параметров сопротивления могут считаться приемлемыми, что позволяет использовать их в дальнейших гидрологических расчетах.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Вопросы защиты от негативного воздействия поверхностных вод весьма актуальны, но особую значимость они приобретают для отдаленных районов севера нашей страны. Сложившееся исторически в ходе освоения данных территорий расположение населенных пунктов на берегах водных объектов приводит к тому, что они часто оказываются в зоне затопления. Не являются исключением и населенные пункты в пойме р. Вага, для которых характерны периодические затопления, сравнимые со стихийным бедствием. Наводнения способны не только нанести значительный ущерб объектам экономики, но и представляют реальную угрозу безопасности проживающих на данной территории людей. Для установления границ зон затопления для 47 населенных пунктов, расположенных на участке р. Вага от с. Верховажье до ее устья, была разработана и верифицирована гидродинамическая модель.

Гидродинамическое моделирование все более широко входит в практику исследования водных объектов. Оно позволяет решать достаточно обширный круг задач: оценка зон затопления в половодье, оценка изменения скоростного и уровенного режимов, оценка зон распространения загрязнения и т. д. В данном случае обязательная необходимость использования гидродинамической модели, в первую очередь, определялась значительной протяженностью участка исследования, а также разреженностью сети стационарных гидрологических постов наблюдений ФГБУ «Северное УГМС» на р. Вага.

Гидродинамическая модель разработана на основе компиляции результатов дешифрирования рельефа местности по актуальным снимкам высокого разрешения дистанционного зондирования Земли, атласа единой глубоководной системы европейской части России для р. Вага, находящихся в открытом доступе топографических карт, а также данных на основе дешифрирования результатов аэрофотосъемки с БПЛА, выполненной в ходе собственных полевых изысканий. Применение БПЛА значительно упростило получение высокоточной цифровой модели рельефа (ЦМР) и ортофотопланов рассматриваемых населенных пунктов. Для точных планово-высотных характеристик итоговых моделей рельефа местности и ортофотопланов для каждого населенного пункта выполнялся комплекс работ по созданию планово-высотного обоснования, включающий следующие этапы:

- закладку репера с определением его планово-высотных координат;
- настройку и запуск GNSS-приемников (База – Ровер) в режиме RTK;
- определение планово-высотных координат опорных маркеров.

Полученные ЦМР и ортофотопланы послужили основой для отображения границ зон затопления населенных пунктов.

Для построения гидродинамической модели в одномерном приближении выбран специализированный гидрологический программный комплекс HEC-RAS, как наиболее полно отвечающий требованиям решения поставленной задачи. На основе проведенной калибровки модели (табл. 2) показано соответствие измеренных и рассчитанных по модели кривых свободной поверхности, что позволяет использовать разработанную модель в гидрологических расчетах. С помощью гидродинамической модели для р. Вага рассчитаны наивысшие уровни воды 1 % обеспеченности в населенных пунктах, не охваченных гидрологическими наблюдениями.

Картирование границ зон затопления и создание тематических картосхем выполняли в программной среде ESRI ArcMap с применением инструментов 3D-Analyst. Пример построения подобной картосхемы с нанесением зоны затопления, разработанной с использованием ГИС-технологий, представлен на рис. 3.

Стандартные средства редактирования ArcGIS позволяют наносить на картосхемы любой набор графических материалов, характеризующих объект исследования. С использованием стандартных средств ГИС на картосхемах по населенным пунктам, расположенным в затапливаемой пойме р. Вага, были разработаны дополнительные тематические слои (земельные участки, дома, хозяйственные постройки и др.).

Наложение и оцифровка результатов расчета итоговых зон затопления на ортофотопланы местности в границах населенных пунктов позволили получить подробные перечни объектов жилого фонда, хозяйственной деятельности, экономики и ЖКХ. В дальнейшем данная информация будет использована для расчета причиняемого ущерба. Так, по результатам проведенных расчетов, общая площадь 47 населенных пунктов, расположенных на участке исследования, составила 43,3 км<sup>2</sup>, из них в расчетную зону затопления попадает территория 8,6 км<sup>2</sup> (это примерно 20 % от всей площади рассматриваемой



**Рис. 3.** Пример построения границы зоны затопления при прохождении весеннего половодья 1 % обеспеченности для населенного пункта д. Филевская (Вельский муниципальный район Архангельской обл.).

Fig. 3. An example of constructing the boundary of the flooding zone during the passage of the spring flood of 1 % probability for the village of Filyaevskaya (Velsky municipal rayon of Arkhangelsk Oblast).

мых населенных пунктов). Наибольшая площадь затопления находится в с. Верховажье – 2,4 км<sup>2</sup> (примерно 23 % от площади села). Территории населенных пунктов СОР «Эколог», деревни: Мелеховская, Чурковская, Павшинская, Озябловская, Губино, Кулига, Болкачевская, Митинская, Тушевская, Сметанино полностью попадают в расчетную зону затопления при прохождении весеннего половодья 1 % обеспеченности.

Общее количество объектов ЖКХ (частные и многоквартирные дома) в расчетных зонах затопления составляет 1137 с общей площадью 0,15 км<sup>2</sup>.

### ВЫВОДЫ

Гидродинамическая модель р. Вага на участке от с. Верховажье до ее устья создана в рамках разработки научно обоснованных рекомендаций по противопаводковой защите населенных пунктов и объектов экономики по заданию Двинско-Печорского БВУ. Результаты гидродинамического моделирования будут использованы при расчетах возможного ущерба от негативного воздействия вод и подготовки эффективных противопаводковых рекомендаций.

Использование в работе гидродинамического моделирования для решения задач, связанных с установлением границ зон затопления, расположенных в отдаленных районах севера нашей страны населенных пунктов, является наиболее оптимальным. Оно позволяет учитывать большую протяженность рек и достаточно разреженную сеть стационарных гидрологических постов наблюдений Росгидромета. Применение БПЛА для установления границ зон затопления населенных пунктов позволяет оперативно собрать не только актуальные сведения о жилой застройке и объектах экономики, расположенных в зоне затопления, но и получить детальную цифровую модель рельефа, являющуюся основой для гидродинамического моделирования. Обработка современными программными средствами результатов аэрофотосъемки выводит на новый качественный уровень сбор исходных данных для проведения гидродинамического моделирования, значительно снижает трудозатраты на проведение обширных геодезических изысканий.

Результаты исследования продемонстрировали, что наиболее эффективным для установления границ зон затопления населенных пунктов является применение комплексного подхода, объединяющего как статистическую обработку материалов режимных наблюдений на гидрологических постах Росгидромета, проведение собственных инженерно-гидрологических и геодезических изысканий, так и использование численного гидродинамического моделирования. Рассматриваемый подход был использован и для выполнения аналогичного исследования для р. Печоры. Результаты работы по данной НИР были одобрены и официально приняты на заседании Научно-технического совета Двинско-Печорского БВУ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 3. Северный край. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 662 с.
2. Лучников А.И., Голдобин Н.А., Лепешкин С.А. Опыт комплексных натурных исследований с применением БПЛА при решении задач по оценке зон затопления территорий

- населенных пунктов (на примере реки Печоры) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2023. № 2. С. 55–68. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_2\_4. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_2\_4.
3. Перепелица Д.И., Тиунов А.А., Лепихин А.П., Андреев С.Р., Голдобин Н.А., Лепешкин С.А. Выбор противопаводковых мероприятий с использованием вычислительных экспериментов (на примере нижнего течения реки Печоры). // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2023. № 2. С. 69–89. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_2\_5. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_2\_5.
  4. Сиразетдинова Д.А., Клеин А.Н., Абдуллин А.Х. Моделирование затопления территорий с использованием Aregis PRO // Информационные технологии. Проблемы и решения. 2017. № 1 (4). С. 195 – 199.
  5. Чечин А.В., Анисимова Э.С. Моделирование зон затопления с использованием геоинформационных систем для оценки ущерба объектам недвижимости // Великие реки 2015: Труды конгресса 17-го межд. научно-промышленного форума. Нижний Новгород, 2015. С. 467 – 468.
  6. Голубева А.Б. Зоны затопления для равнинных рек Алтайского края, расчет ущербов и анализ рисков // Известия АО РГО. 2015. № 4 (39). С. 43 – 48.
  7. Hartnett M., Nash S. High-resolution flood modeling of urban areas using MSN\_Flood // Water Science and Engineering. 2017. № 10 (3). P. 175 – 183.
  8. Yongzhi L., Wenting Z., Xinmin C. Flood emergency management using hydrodynamic modeling // Procedia Engineering. 2012. Vol. 28. P. 750–753. DOI:10.1016/j.proeng.2012.01.802.
  9. Nikonorov A., Badenko V., Terleev V., Togo I., Volkova Yu., Skvortsova O., Nikonova O., Pavlov S., Mirshel W. Use of GIS-environment under the Analysis of the Managerial Solutions for Flood Events Protection Measures // Procedia Engineering. 2016. Vol. 165. P. 1731–1740. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.916.
  10. Лепихин А.П., Тиунов А.А., Возняк А.А., Особенности формирования и расчета обратных течений в Воткинском водохранилище (1D-постановка) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2018. № 5. С. 21–36. DOI: 10.35567/1999-4508-2018-5-2.
  11. Лепихин А.П., Ляхин Ю.С., Тиунов А.А., Возняк А.А., Лучников А.И., Перепелица Д.И., Богомолов А.В. Анализ возможных последствий крупномасштабной добычи песчано-гравийной смеси в нижних бьефах крупных гидроузлов на основе гидродинамического моделирования (на примере Воткинской ГЭС). // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2021. № 4. С. 86–104. DOI: 10.35567/1999-4508-2021-4-5.
  12. Мирошниченко С.А., Лучников А.И., Лепешкин С.А., Перепелица Д.И., Тиунов А.А. Разработка комплекса мероприятий по защите населенных пунктов от затопления в нижнем течении реки Печоры // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2024. № 2. С. 51–66. DOI: 10.35567/19994508-2024-2-51-66
  13. Лепихин А.П., Любимова Т.П., Ляхин Ю.С., Тиунов А.А., Богомолов А.В., Перепелица Д.И., Паршакова Я.Н. Гидродинамическое моделирование реки Вятки в среднем течении: постановка задачи, результаты расчетов // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2013. № 3. С. 16–32. DOI: 10.35567/1999-4508-2013-3-2.

## REFERENCES

1. Surface water resources of the USSR. Vol. 3. The Northern Territory. Hydrometeoizdat. L. 1972. 662 p.
2. Luchnikov A.I., Goldobin N.A., Lepeshkin S.A. The experience of complex field studies using UAVs in solving problems of assessing flood zones of populated areas (on the example of the Pechora River). *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2023. No. 2. P. 55–68. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_2\_4. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_2\_4.
3. Perepelitsa D.I., Tiunov A.A., Lepikhin A.P., Andreev S.R., Goldobin N.A., Lepeshkin S.A. The choice of flood control measures using computational experiments (on the example of the lower reaches of the river Pechora). *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2023. No. 2. P. 69–89. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_2\_5. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_2\_5.

4. Sirazetdinova D.D., Klein A.N., Abdullin A.H. Modeling of flooding of territories using Aregis PRO. *Informatsionniye tekhnologii. Information technologies. Problems and solutions.* 2017. № 1 (4). P. 195–199.
5. Chechin A.V., Anisimova E.S. Modeling of flood zones using geo/information systems to assess damage to real estate. *Great Rivers 2015: Proceedings of the Congress of the 17th International Scientific and Industrial Forum.* In 3 vol. Nizhny Novgorod, 2015. P. 467–468.
6. Golubeva A.B. Flooding zones for flat rivers of the Altai Territory, damage calculation and risk analysis. *Izvestiya AO RGO [AO RGO newsletters].* 2015. № 4 (39). P. 43–48.
7. Hartnett M., Nash S. High-resolution flood modeling of urban areas using MSN\_Flood. *Water Science and Engineering.* 2017. № 10 (3). P. 175 – 183.
8. Yongzhi L., Wenting Z., Xinmin C. Flood emergency management using hydrodynamic modelling // *Procedia Engineering.* 2012, Vol. 28. P. 750 -753. DOI:10.1016/j.proeng.2012.01.802.
9. A. Nikonorov, V. Badenko, V. Terleev, I. Togo, Yu. Volkova, O. Skvortsova, O. Nikonova, S. Pavlov, W. Mirshel. Use of GIS-environment under the Analysis of the Managerial Solutions for Flood Events Protection Measures. *Procedia Engineering.* 2016. Vol. 165. P. 1731–1740. DOI:org/10.1016/j.proeng.2016.11.916.
10. Lepikhin A.P., Tiunov A.A., Wozniak A.A., Features of the formation and calculation of reverse currents in the Votkinsk reservoir (1D-statement). *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management.* 2018. No. 5. P. 21–36. DOI: 10.35567/1999-4508-2018-5-2.
11. Lepikhin A.P., Lyakhin Yu.S., Tiunov A.A., Wozniak A.A., Luchnikov A.I., Perepelitsa D.I., Bogomolov A.V. Analysis of possible consequences of large-scale extraction of sand-gravel mixture in the lower reaches of large hydroelectric power plants based on hydrodynamic modeling (on the example of Votkinskaya HPP). *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management.* 2021. No. 4. P. 86–104. DOI: 10.35567/1999-4508-2021-4-5.
12. Miroshnichenko S.A., Luchnikov A.I., Lepeshkin S.A., Perepelitsa D.I., Tiunov A.A. Development of a set of measures to protect settlements from flooding in the lower reaches of the Pechora River. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management.* 2024. No. 2. P. 51–66. DOI: 10.35567/19994508-2024-2-51-66.
13. Lepikhin A.P., Lyubimova T.P., Lyakhin Yu.S., Tiunov A.A., Bogomolov A.V., Perepelitsa D.I., Parshakova Ya.N. Hydrodynamic modeling of the Vyatka River in the middle reaches: problem statement, calculation results. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management.* 2013. No. 3. P. 16–32.

#### Сведения об авторах:

**Мирошниченко Сергей Анатольевич**, канд. геогр. наук, руководитель филиала, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал, Россия, 614002, г. Пермь, ул. Николая Островского, 113; ORCID: 0009-0007-5335-9761; e-mail: kama2100@mail.ru

**Лучников Антон Игоревич**, ведущий инженер-исследователь, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал, Россия, 614002, г. Пермь, ул. Николая Островского, 113; ведущий инженер, ФГБУН «Горный институт Уральского отделения Российской академии наук, Россия, 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78А; ORCID: 0000-0002-0660-2462; e-mail: luchnikovanton@gmail.com

**Лепешкин Сергей Александрович**, научный сотрудник, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал, Россия, 614002, г. Пермь, ул. Николая Островского, ORCID: 0000-0002-2308-4396; e-mail: lepehkin\_sa@mail.ru

**Тиунов Алексей Александрович**, ведущий инженер-программист, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал, Россия, 614002, г. Пермь, ул. Николая Островского, 113; ведущий инженер, лаборатория проблем гидрологии суши, «Горный инсти-

тут Уральского отделения Российской академии наук» – филиал ФГБУН «Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», Россия, 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78А; ORCID: 0000-0003-2015-8828; email: alexey.tiunov@gmail.com

**About the authors:**

**Sergei A. Miroshnichenko**, Candidate of Geographical Sciences, Head, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection Kama Branch, ul. Nikolaya Ostrovskogo, 113, Perm, 614002, Russia; ORCID: 0009-0007-5335-9761; e-mail: kama2100@mail.ru

**Anton I. Luchnikov**, Leading Engineering Researcher, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection Kama Branch, ul. Nikolaya Ostrovskogo, 113, Perm, 614002, Russia; Leading Engineer, Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Sibirskaaya, 78A, Perm, 614007 Russia; ORCID: 0000-0002-0660-2462; e-mail: luchnikovanton@gmail.com

**Sergey A. Lepeshkin**, Researcher, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection Kama Branch, ul. Nikolaya Ostrovskogo, 113, Perm, 614002, Russia; ORCID: 0000-0002-2308-4396; e-mail: lepehkin\_sa@mail.ru

**Aleksey A. Tiunov**, Lead Software Engineer, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection Kama Branch, ul. Nikolay Ostrovsky, 113, Perm, 614002, Russia; Senior Engineer, Laboratory of Land Hydrology Problems, “Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences” - branch of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (“Ural Branch of the Russian Academy of Sciences”), ul. Sibirskaaya, 78A, Perm, 614007, Russia; ORCID: 0000-0003-2015-8828; email: alexey.tiunov@gmail.com



## О методологии проведения реабилитации поверхностных водных объектов

А.Н. Попов ✉

✉ wrm@wrm.ru

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

### АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** Исследование посвящено анализу состояния водных объектов на территории России, разработке методологии обоснования необходимости проведения реабилитационных работ, выбору оптимальных методов реабилитации деградировавших водотоков и водоемов, мониторингу и защите оздоровленных водных объектов от негативного воздействия, приводящего к деградации водных экосистем. **Методы.** Анализ «Отчета о результатах экспертно-аналитического мероприятия» Счетной Палаты РФ за 2020 г., результатов исследований зарубежных и отечественных авторов, результатов собственных многолетних наработок по обсуждаемому вопросу. **Результаты.** Разработаны методы реализации общей методологии реабилитации водных объектов, представленной в исследованиях РосНИИВХ. Для каждого типа водного объекта – водоемы (малопроточные, средней проточности, эвтрофные фитопланктонного и макрофитного типов, загрязняемые химическими ингредиентами), речная сеть – представлен алгоритм определения необходимости проведения реабилитационных работ, методика выбора приоритетных мероприятий по реабилитации водных объектов. Доказана обязательность прогноза состояния водного объекта до реализации выбранных мероприятий. Показаны результаты применения разработанной методики выбора оптимального направления реабилитационных мероприятий на примере двух водоемов – эвтрофного и загрязняемого химическими веществами.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** реабилитация, истощение водных бассейнов, экосистемный подход, принципы реабилитации, общая методология, водоемы, речные системы.

**Для цитирования:** Попов А.Н. О методологии проведения реабилитации поверхностных водных объектов // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2024. № 4. С. 87–107. DOI:10.35567/19994508-2024-4-87-107.

Дата поступления 05.07.2024.

### About a methodology of the surface water bodies' rehabilitation

Aleksandr N. Popov ✉

✉ wrm@wrm.ru

Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection Ural Branch, Ekaterinburg, Russia

### ABSTRACT

**Relevance.** This study is devoted to the analysis of the water bodies' status on the territory of Russia, to development of a methodology of justification of the necessity of rehabilitation, to selection of optimal method of rehabilitation of degraded watercourses and water bodies, and to monitoring and protection of the rehabilitated water bodies against adverse impact causing

© Попов А.Н., 2024

the aquatic systems' degradation. **Methods.** Analysis of "The report about results of expert/analytical operation" of the Accounts chamber of the Russian Federation, 2020, results of the outcomes of the studies of foreign and domestic authors, and results of our own many-year efforts on the discussed issue. **Results.** The methods of implementation of the general methodology of water bodies' rehabilitation presented in the RisNIIVKh proceedings for each type of water bodies (low-running, medium-running, eutrophic of phytoplankton and macrophyte types polluted with chemical ingredients), and river networks, concrete actions for determination of the necessity of rehabilitation, and the methods of choosing priority measures aimed at the water bodies' rehabilitation have been developed. We have proved the necessity of the water body status forecast prior to realization of the measures selected. Results of the application of the developed methods of selection the rehabilitation measures optimal direction have been demonstrated with two water bodies (an eutrophic one and polluted with chemical substances one) as examples.

**Keywords:** rehabilitation, depletion of water basins, ecosystem approach, rehabilitation principles, general methodology, water bodies, river systems.

**For citation:** Popov A.N. About a methodology of the surface water bodies' rehabilitation. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2024. No. 4. С. 87–107. DOI:10.35567/19994508-2024-4-87-107.

Received 05.07.2024.

## ВВЕДЕНИЕ

Результаты взаимовлияния водных объектов, технологий и качества окружающей среды позволяют сделать вывод, что в настоящее время «водные ресурсы являются критическим критерием устойчивого развития в эколого-экономическом и социально-эстетическом понимании»<sup>1</sup>. Анализ показывает, что в Российской Федерации происходит, по существу, ресурсное истощение водных бассейнов, в результате чего они не способны поддерживать биоразнообразие, устойчивость, сбалансированность биоты и гидрохимического режима, и, следовательно, всего комплекса взаимовлияющих факторов (водных, наземных, воздушных) в целом. Сформировавшаяся эколого-социальная ситуация характеризуется следующим: многие водотоки и водоемы на освоенной территории России представляют непосредственную опасность для здоровья человека; наблюдается тяжелейшая ситуация с воспроизводством пресноводных биоресурсов; продолжается политика экстенсивного хозяйственного освоения ресурсов поверхностных водных объектов. По сути, сложились условия, ведущие к безвозвратной потере водотоков и водоемов и как источников водоснабжения, и как неотъемлемого элемента ландшафтной структуры, активно участвующего в формировании и поддержании здоровой среды обитания всего живого.

Эта ситуация требует масштабной организации мероприятий по разработке водосберегающих технологий не только в промышленности и сельском хозяйстве, но и в бытовой сфере, а также реабилитации (оздоровления) и последующей защиты деградировавших поверхностных водных объектов. Наряду с

<sup>1</sup> Руководящие принципы экосистемного подхода к водохозяйственной деятельности. ЕЭК ООН, 1993 г. Режим доступа: [www.unece.org/.../sem.4/mp.wat.sem.4.2004.4r.pdf](http://www.unece.org/.../sem.4/mp.wat.sem.4.2004.4r.pdf)

этим, в документе Счетной Палаты РФ<sup>2</sup> дана негативная оценка результатам девятилетней работы по реабилитации водных объектов: «...После завершения мероприятий по ЭРВО класс качества воды по ряду объектов не улучшился, а по ряду – ухудшился (например, Брянская, Владимирская, Тамбовская, Томская области, Республика Удмуртия), что свидетельствует о неэффективном использовании бюджетных средств согласно показателям, установленным в пункте 15 Методики оценки эффективности реализации ФЦП «РВХК» (приложение № 13)». Указана и основная причина неэффективного освоения финансовых средств (более 10 млрд руб.) – отсутствие единой методологической основы проведения восстановительных работ.

Анализ результатов, опубликованных за последние 17 лет (2007–2024 гг.) российских и зарубежных исследований<sup>3</sup> [1–14], посвященных вопросам реабилитации водных объектов, показал отсутствие в Российской Федерации базовых документов, в которых были бы закреплены понятия «экологическая реабилитация водных объектов», цель реабилитационных работ, принципы и общая методология реабилитации поверхностных водных объектов, положения, на которые опирается реализация методологии, ранжирование целей реабилитации и механизмы реализации. Последствия – отсутствуют единые методические документы, позволяющие проводить:

- обоснование необходимости проведения реабилитационных работ для различных видов водных объектов;
- обоснование целесообразного комплекса реабилитационных мероприятий в зависимости от состояния водного объекта, воздействующих факторов и планируемых к достижению показателей;
- прогнозировать эффективность планируемых реабилитационных мероприятий;
- устанавливать (рассчитывать) характеристики проектируемых мероприятий;
- рекомендовать технологию мониторинга водных объектов в постреабилитационный период.

К сожалению, в нашей стране в настоящее время не используются методологии комплексной оценки состояния водных объектов, учитывающие положения «Экосистемного подхода к водохозяйственной деятельности». Положение, зафиксированное в российском законодательстве, игнорируется практически всеми разработчиками оздоровительных мероприятий на водных объектах. По сути, в вопросах оздоровления водных объектов не произошло перемен по отношению к отмеченному в документе<sup>2</sup>.

В работах [15, 16] проанализированы некоторые теоретические вопросы развития механизмов реализации проектов экологической реабилитации

<sup>2</sup>Анализ результативности принятых мер по экологической реабилитации водных объектов (ЭРВО) в 2012–2019 годах и истекшем периоде 2020 года, а также оценка достижения показателей, предусмотренных документами стратегического планирования, касающихся экологического состояния водных объектов». Отчет о результатах экспертно-аналитического мероприятия. Счетная Палата РФ, 2020 г.

<sup>3</sup>Патент на изобретение RU 2784508 С1. Способ реабилитации водных объектов.

водных объектов, в целом не решающие обозначенные выше актуальные задачи. Частичное решение представлено в работе «Временные рекомендации по выбору метода восстановления и мелиорации водоема» [17], выполненной коллективом авторов РосНИИВХ и получившей одобрение Научно-технического совета Минводхоза РСФСР. Рекомендации были апробированы при разработке методов восстановления зарастающих озер Среднего Урала, прогнозировании гидробиологического состояния проектируемых водохранилищ (Иштугановское, Верхне-Араслановское, Юмагузинское, Сулёмское). Апробация показала необходимость совершенствования механизмов планирования и проведения мероприятий по экологической реабилитации водных объектов (ЭРВО), в т. ч. в части установления критериев оценки, подлежащих учету при выборе требующих восстановления в первоочередном порядке водных объектов, определении приоритетных оздоровительных мероприятий, порядке их проведения, соблюдения комплексного подхода, учитывающего изменение класса качества воды в водном объекте по результатам проведения ЭРВО.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Учитывая результаты апробации методики [17], собственных исследований по данному вопросу, коллектив авторов в 2017 г. опубликовал статью [18], в которой представлена общая методология обоснования необходимости проведения оздоровительных работ, оптимальной направленности, глубины и времени реабилитационных воздействий на биогеоэкосистему поверхностных водных объектов: водотоков (реки, ручьи, каналы); водоемов (озера, пруды, обводненные карьеры, водохранилища). Приведем кратко некоторые положения, изложенные в работе [18]:

*Цель реабилитации поверхностных водотоков и водоемов* – возрождение функциональной способности геоэкосистем водных объектов до состояния, при котором они смогут стабильно воспроизводить и поддерживать экологически безопасные условия существования биоты. Одним из главных базисов реабилитации водных объектов в условиях влияния техногенеза принят экосистемный подход к водохозяйственной деятельности, являющийся методологической основой поддержания устойчивого развития водных экосистем, требующий рассматривать как единое целое водный объект, его водосбор, воздушное пространство над ним и деятельность по планированию, исследованию и рациональному использованию его ресурсов с учетом возможности поддержания устойчивого состояния окружающей среды в целом<sup>1</sup>.

*Задачи реабилитации.* Реабилитация поверхностных водных объектов – это совокупность чередующихся в пространстве и во времени действий, направленных на достижение конкретной цели. Одна из наиболее важных задач – обоснование необходимости проведения реабилитации водного объекта, оптимальной направленности, глубины и времени реабилитационных воздействий, которые позволят достичь максимально возможного результата в конкретной эколого-экономической ситуации. Немаловажной задачей является также оценка характеристик технологических процессов, которые будут выбраны для реализации реабилитационных мероприятий.

Каждый из обозначенных в работе [18] типов водных объектов (водоемы, водотоки) имеет свои морфометрические, гидрологические и гидрометрические параметры, режимы эксплуатации и другие особенности. Возникает вполне закономерный вопрос: каким образом представленная методология может быть реализована для каждого типа водного объекта?

**Водоемы**

Различаются несколько типов водоемов. Тип водоема определяется на основании данных о коэффициенте прозрачности  $K_{оп}$  – отношения прозрачности воды (по диску Сэжки) к средней глубине. В табл. 1 представлены данные о взаимосвязи между  $K_{оп}$  и типом водоема [19].

**Таблица 1.** Взаимосвязь между коэффициентом прозрачности и типом водоема  
Table 1. Interconnection between the transparency coefficient and the water body type

№	Название	Коэффициент относительной прозрачности ( $K_{оп}$ )	Тип водоема
1	Оптически очень мелководные озера (олигофотобатные)	$\leq 0,25$	фитопланктонный (планктотрофный)
2	Оптически мелководные озера (олигомезофотобатные)	0,25-0,50	фитопланктонный (планктотрофный)
3	Оптически средне-глубокие (мезофотобатные)	0,5-1,0	фитопланктонно-макрофитный бентопланктотрофного типа (гармоничного)
4	Оптически глубокие (мезополифотобатные)	1-2	макрофитный (бентотрофный)
5	Оптически очень глубокие (полифотобатные)	2 – 4	макрофитный (бентотрофный)

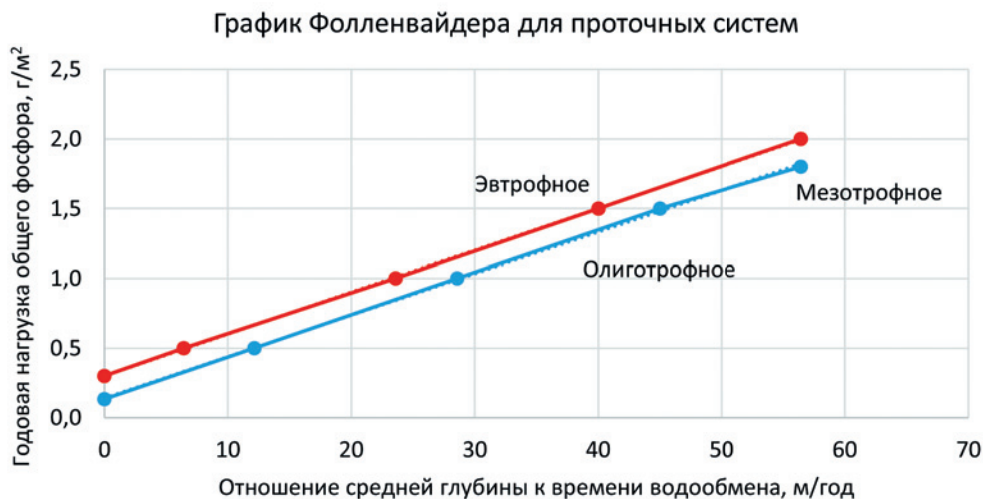
*Примечание:* олигофотобатные – преобладающий вид проявления продукционных процессов – «цветение» фитопланктона; олигомезофотобатные – преобладающий вид проявления продукционных процессов – «цветение» фитопланктона; мезофотобатные – проявление продукционных процессов – «цветение» фитопланктона, частичная зарастаемость акватории, до 50 %; мезополифотобатные – проявление продукционных процессов – зарастаемость акватории > 50 – < 100 %; полифотобатные – проявление продукционных процессов – зарастаемость акватории – до 100 %

Каждый из типов водоемов имеет трофический статус, который зависит от интенсивности продукционных процессов и определяется поступлением лимитирующего биогенного элемента, его площади, средней глубины и времени водообмена. Для большинства водоемов России лимитирующим биогенным элементом является фосфор общий. При наличии перечисленной информации трофический статус фитопланктонных и макрофитных типов водоемов определяется по схемам Фолленвайдера (рисунок) [20], соотносящим удельную фосфорную нагрузку в  $г/м^2$  год с морфометрическими и гидрологическими параметрами для непроточных, малопроточных и водоемов умеренной

проточности, либо по иным схемам. При отсутствии такой информации трофический статус фитопланктонных и фитопланктонно-макрофитных водоемов определяется на основании данных, представленных в табл. 2.

**Таблица 2.** Трофический статус фитопланктонных и фитопланктонно-макрофитных водоемов в соответствии с концентрацией хлорофилла «а» и биомассой фитопланктона (средние за лето величины) [21]  
 Table 2. Trophic status of phytoplankton and phytoplankton/macrophyte water bodies in accordance with chlorophyll «a» concentration and phytoplankton mass (average summer values)

Концентрация хлорофилла «а», мг/м <sup>3</sup>	Биомасса фитопланктона, мг/дм <sup>3</sup>	Трофический статус
<5–10	< 0,1–0,5	олиготрофный
11–20	0,6–2,0	мезотрофный
21–75	2,1–10,0	эвтрофный
76–150	10–50,0	политрофный
150–250 и >	≥ 50–100	гипертрофный



**Рисунок.** Схема связи между нагрузкой общим фосфором, средней глубиной, временем водообмена и уровнем трофии водоема.  
 Fig. A scheme of interconnection between total phosphorous load, average depth, time of water exchange and trophic level of the water body

На необходимость проведения реабилитационных работ указывает трофический статус фитопланктонных водоемов – эвтрофный, политрофный, гипертрофный. Необходимо отметить, что на практике некоторые водохранилища уже при создании даже на водотоках, не подверженных антропогенному воздействию, имеют статус эвтрофного. Это происходит при условии соотношения удельного потока общего фосфора, формирующегося за счет внешних и внутренних источников, гидрологических и морфометрических параметров (средней глубины, отношения средней глубины к проточности), превышающего критическую величину (см. рисунок). В этом случае необходимо предусмотреть либо мероприятия, защищающие водоем от увеличения поступления лимитирующего биогена, либо внесение корректировок в проект. Последнее может быть осуществлено только на основе прогноза гидробиологического состояния проектируемого водохранилища, которое в России практически при проектировании не осуществляют, что противоречит положениям, изложенным в «Руководящих принципах экосистемного подхода к водохозяйственной деятельности»<sup>1</sup>.

Для макрофитных водоемов при отсутствии информации о соотношении удельной нагрузки, морфометрических и гидрологических параметров определение трофического статуса производится по степени зарастания (покрытия) высшей водной растительностью (ВВР) акватории водоема (табл. 1), видовому составу высших водных растений. Для любого макрофитного водоема существует оптимум развития ВВР в конкретный период его жизни как водного объекта [22, 23], который может отличаться от фактически определенного в любую сторону. При превышении фактической степени зарастания оптимальной водоем относится к эвтрофному типу.

Оптимальная степень зарастания водной растительностью для водоемов рассчитывается по уравнению [23]:

$$Mcov = IF (Lat < 55) THEN (56,5 \times (Sec/Dmean)) ELSE (23,6 \times (Sec/Dmean)) \quad (1)$$

где  $Lat$  – географическая широта, °.ш.;

$Sec$  – прозрачность в метрах по диску Секки;

$D mean$  – средняя глубина водоема в метрах.

Полученное значение указывает на оптимальную площадь зарастания водоема макрофитами в %. Оптимальная годовая продукция макрофитов (ккал/м<sup>2</sup>год) в водоеме рассчитывается по уравнению [23]:

$$Pmac = 10^{(2,21 + 1,08 Lg (Mcov) - 0,49 (90/(90 - Lat)))} \quad (2)$$

где  $Mcov$  – оптимальная степень зарастания водоема макрофитами, %;

$Lat$  – географическая широта, °.ш.

Полученное значение указывает на оптимальную продукцию макрофитов за год, выраженную в ккал/(м<sup>2</sup>\*год). 1 ккал соответствует 0,217 г органического вещества биомассы ВВР, 0,25 г сухого вещества биомассы ВВР – 1,56 г сырой массы растений [24].

Выбор оптимальных методов реабилитации для эвтрофных водоемов, продукционные процессы которых лимитируются потоками общего фосфора (на территории России их более 95 %), основан на расчете фактической удельной нагрузки биогеном, оценке ее необходимого снижения для достижения задаваемой трофности, ранжировании источников поступления ингредиента и выборе наиболее существенных, определении возможной степени снижения их воздействия (с учетом НДТ), прогнозе изменения состояния водного объекта, корректировке (при необходимости по результатам прогноза) перечня мероприятий и количества инактивируемых источников. Необходимо и определение концентраций базовых аналитов как до проведения реабилитационных мероприятий, так и после, поскольку продуцируемая биомасса филопланктона и макрофитов зачастую является источником загрязнения органическими веществами, соединениями азота и пр.

Для водоемов, на гидрохимический режим и трофический статус которых оказывает влияние поступление химических веществ (аналитов) и потоков общего фосфора, выбор значимых оздоровительных мероприятий основан на определении потоков ингредиентов от различных источников воздействия, с дальнейшим определением наиболее значимых, оценке возможной степени их инактивации на основе НДТ и последующего прогноза изменения их состояния.

Факторы воздействия на состояние водных объектов:

1. Локализованное поступление загрязненных вод: бытовые, промышленные, ливневые сточные воды, шахтный и карьерный водоотлив, сток с осушительных и оросительных систем и пр.

2. Рассеянное поступление загрязнений: диффузный сток с водосбора, грунтовый сток, диффузный сток с сельскохозяйственных территорий, сток с территории неблагоустроенных населенных пунктов, подотвальные воды, добыча полезных ископаемых на акваториях и пр.

3. Внутренние факторы: донные отложения, физико-химические, биологические и физические процессы в толще воды, продукционно-деструкционные процессы в воде и на грунте, жизнедеятельность гидробионтов, морфометрические характеристики, гидролого-гидравлические характеристики и пр. Морфометрические характеристики – средняя глубина, средняя площадь, средний объем воды и донных отложений, изолинии глубин воды, изолинии мощности донных отложений – определяются при обязательной батиметрической съемке.

### **Методы определения фактической суммарной удельной фосфорной нагрузки на водоем**

Один из методов определения фактической суммарной удельной фосфорной нагрузки на водоем ( $\Gamma_{\text{сумм}}$ ) построен на следующем положении: среднегодовая концентрация общего фосфора в водоеме ( $C_p$ ) равна его концентрации в период полного перемешивания объема (чаще всего в мае [10]). Фактическая суммарная фосфорная нагрузка на водоем определяется по уравнению:



$$\Gamma_{\text{сумм}} = C_p * V / F_{\text{общ}}, \quad (3)$$

где  $V$  – среднегодовой объем водоема;

$F_{\text{общ}}$  – площадь акватории при среднегодовом объеме.

При невозможности определения  $\Gamma_{\text{сумм}}$  по уравнению (3) определение фактической суммарной удельной фосфорной нагрузки на водоем производится суммированием внутренних и внешних годовых потоков фосфора, определяемых при проведении полевых и лабораторных работ, деленных на площадь акватории водоема. Поступление общего фосфора в водоем за счет внешних источников за вычетом выноса с истоками ( $\Pi_{\text{внешн}}$ ), г/год:

$$\Pi_{\text{внешн}} = \Pi_{\text{рч}} + \Pi_{\text{ст}} + \Pi_{\text{атм}} + \Pi_{\text{рх}} + \Pi_{\text{ота}} + \Pi_{\text{лп}} + \Pi_{\text{всб}} - \Pi_{\text{ист}}, \quad (4)$$

где  $\Pi_{\text{рч}}$  – поступление фосфора с речным (русловым) стоком, г/год;

$\Pi_{\text{ст}}$  – поступление общего фосфора со сточными водами промышленности, ливневой и хозяйственно-бытовой канализации, сбрасываемыми непосредственно в водоем, г/год;

$\Pi_{\text{атм}}$  – поступление общего фосфора на акваторию водоема с атмосферными осадками, г/год;

$\Pi_{\text{рх}}$  – поступление фосфора от садкового рыбного хозяйства (при его наличии), г/год;

$\Pi_{\text{ота}}$  – поступление фосфора от рекреационной нагрузки, г/год;

$\Pi_{\text{лп}}$  – поступление фосфора с листовым опадом, г/год;

$\Pi_{\text{всб}}$  – поступление фосфора с недренируемой водотоками территории частного водосбора, г/год;

$\Pi_{\text{ист}}$  – вынос фосфора из водоема с водой истоков, водозабором, г/год. Для непроточных водоемов  $\Pi_{\text{ист}}$  равно нулю.

Внешняя удельная нагрузка общим фосфором равна:

$$\Gamma_{\text{внешн.}} = \Pi_{\text{внешн}} / F_{\text{в}}, \quad (5)$$

где  $F_{\text{в}}$  – площадь водоема при фактическом уровне воды, м<sup>2</sup>.

Внутренний удельный поток общего фосфора равен:

$$\Gamma_{\text{внутр}} = \Gamma_{\text{ав}} + \Gamma_{\text{амо}} + \Gamma_{\text{фпл}} + \Gamma_{\text{н.м.}} \quad (6)$$

где  $\Gamma_{\text{ав}}$  – удельная нагрузка фосфором от плавающей и затопленной древесины, г/м<sup>2</sup>·год;

$\Gamma_{\text{амо}}$  – удельная нагрузка фосфором от донных отложений, обусловленная окислением стойкого мертвого органического вещества, г/м<sup>2</sup>·год;

$\Gamma_{\text{фпл}}$  – удельная нагрузка фосфором, обусловленная окислением биомассы фитопланктона, г/м<sup>2</sup>·год;

$\Gamma_{\text{н.м.}}$  – удельная нагрузка фосфором, обусловленная окислением биомассы макрофитов, г/м<sup>2</sup>·год.

Общая удельная нагрузка равна сумме внешней и внутренней удельной нагрузки.

### Выбор приоритетных мероприятий для реабилитации водоема

Методология выбора приоритетных мероприятий по реабилитации водоема представлена на примере эвтрофных условных малопроточных водоемов фитопланктонного и макрофитного типов.

Общие процедуры: определение концентрации фитопланктона и степени зарастаемости, на основании чего оценивается трофический статус водоема (табл. 1) и принимается решение о необходимости его реабилитации. При положительном решении проводится батиметрическая съемка, по результатам которой строятся кривые площадей и объемов воды и донных отложений. Дифференцированно определяется годовое поступление из каждого источника внешней нагрузки, вынос с истоками и водозаборами.

В случае отсутствия либо недостатка данных о водоеме, втекающих и вытекающих водотоках, водозаборах, сбросах сточных вод и пр. проводят натурные наблюдения. Створы (посты) наблюдений намечаются в зависимости от расположенных источников загрязнения, точек водоотбора: в проточной части водоема, в верховье, верхнем бьефе, вблизи водозаборов и нижнем бьефе водохранилищ. Объем, сроки и продолжительность наблюдений устанавливаются в зависимости от состояния изученности водоема, впадающих рек, источников загрязнения.

Следует учитывать, что при отборе проб четыре раза в год (раз в сезон) глубина изучения ретроспективы должна составлять пять лет, а современного состояния 2–3 года. При ежемесячном отборе глубина ретроспективного обзора, соответственно, уменьшается до одного года. Для хорошо изученных водных объектов можно ограничиться проведением экспресс-обследования. Особое внимание необходимо обратить на факторы, влияющие на диффузное поступление биогенов с водосбора (рекреационная нагрузка, сельхозугодия и пр.).

Натурные наблюдения для определения внешней нагрузки с замерами концентраций и расходов производятся в течение календарного года. Внутренняя нагрузка (5) определяется на основании результатов лабораторного моделирования (нагрузка от донных отложений) и данных о биомассе фитопланктона, затопленной древесины, высших водных растений.

*Фитопланктонные водоемы.* Зная фактическую концентрацию фитопланктона или удельную нагрузку общим фосфором в соответствии с графиками Фолленвайдера или по данным табл. 2, определяется фактический трофический статус водоема, задается желаемый. Графически или расчетным путем определяется величина снижения потока биогена, необходимая для достижения выбранного трофического статуса. Потоки общего фосфора от внешних и внутренних источников ранжируются по величине. Выбирается поток с наибольшим рангом, определяется возможная степень его инактивации с учетом НДТ. Далее из общей нагрузки вычитается инактивированная часть потока с наибольшим рангом, определяется величина оставшегося суммарного воздействия и прогнозируется трофический уровень водоема. При не-

достижении задаваемого результата реабилитации процедура повторяется со следующим по рангу потоком и так до достижения задаваемой удельной нагрузки. При этом необходимо понимать, какова фоновая концентрация общего фосфора в воде, характерная для естественных процессов в водном объекте и на водосборе, чтобы адекватно определять степень ее возможного снижения. Для этого можно воспользоваться морфоэдафическим индексом (МЭИ), позволяющим рассчитать концентрацию биогена в воде, характерную для естественных процессов в водоеме [26]:

$$\text{МЭИ} = \frac{C}{H} \quad (7)$$

где МЭИ – морфоэдафический индекс;

$C$  – средняя величина электропроводности воды ( $\mu\text{S}/\text{cm}$  при  $20^\circ\text{C}$ );

$H$  – средняя глубина, м.

Концентрация общего фосфора в данном случае рассчитывается по уравнению:

$$\text{Lg}|P| = 0,75 + 0,27 (\pm 0,11) \cdot \text{Lg МЭИ} \quad (8)$$

В качестве примера реализации представленной выше методологии выбора целесообразных методов реабилитации эвтрофных фитопланктонных озер, приведены результаты выполненной работы для высокоэвтрофного оз. Шарташ, расположенного в черте г. Екатеринбурга. Озеро на момент наблюдения имело статус фитопланктонно-макрофитного. Среднегодовое содержание общего фосфора в воде Шарташа –  $0,35 \text{ г P}/\text{м}^3$ .

Общий объем озера составляет  $38,4 \text{ млн м}^3$ , из них донные отложения занимают  $17,2 \text{ млн м}^3$ , объем воды –  $21,2 \text{ млн м}^3$ . Средняя глубина –  $2,89 \text{ м}$ , площадь озера на момент проведения работ составила  $7,33 \text{ км}^2$ , площадь водосбора –  $4 \text{ км}^2$ . Притоков, впадающих в озеро, нет, постоянно действующего истока не обнаружено. Постоянно действующего водозабора не обнаружено. Локальных сбросов сточных вод не производится.

На территории водосбора находится  $686$  домов, включая оздоровительные учреждения, где постоянно проживает до трех тысяч человек. На берегах озера на расстоянии  $50\text{--}400 \text{ м}$  размещено  $23$  промышленных объекта, многие из которых не имеют отношения к рекреационным целям (склады, производственные базы, цеха по производству швейных изделий, теплицы и т. д.). Санитарное состояние прибрежной зоны, особенно в период массового отдыха населения, неудовлетворительное. Отсутствие необходимого количества мусоросборников, туалетов, низкая культура поведения населения делает эту зону интенсивным источником бактериального и вирусного загрязнения.

Степень зарастаемости акватории озера на момент исследования составила  $45 \%$ ,  $P_m$  (биомасса высшей водной растительности, рассчитанная на сухой вес)  $342 \text{ г}/\text{м}^2$ , в основном погруженная высшая водная растительность (ВВР). Общий вес сырой биомассы высшей водной растительности –  $29\,000 \text{ т}$ .

Поток общего фосфора из плавающей и затопленной древесины – 0. Средняя биомасса фитопланктона за вегетационный период – 0,4574 г/м<sup>3</sup> (сухой вес), в зимний период – 0. Длительность зимнего периода – 233 дня.

Для вегетационного периода были получены следующие параметры поступления фосфора из донных отложений и высшей водной растительности – 1,906 г Р/м<sup>2</sup>·год. Внешний удельный поток общего фосфора в озеро составил 0,15 г Р/м<sup>2</sup>·год, суммарный поток фосфора на единицу площади водоема – 2,056 г Р/м<sup>2</sup>·год.

Согласно модели Фолленвайдера, водоем со средней глубиной Шарташа (2,89 м) является эвтрофным, начиная с годовой удельной нагрузки общим фосфором 0,11 г Р/м<sup>2</sup>·год ( $P_{крит}$ ). Фактическая нагрузка на Шарташ почти в 19 раз выше, т. е. водоем является высокоэвтрофным.

Рассмотрены следующие методы реабилитации озера, реализация которых в условиях его существования в той или иной степени осуществима:

- при создании проточности (~ 10 % от объема озера) и содержании фосфора в добавляемой воде = 0 величина снижения удельного потока составит лишь 6 % от  $P_{сум}$ , т. е. не вызовет существенного улучшения состояния водоема. Для увеличения степени проточности отсутствуют необходимые ресурсы;

- при полном удалении донных отложений и макрофитов из оз. Шарташ суммарный поток фосфора в его воды снизится на 1,906 г Р/м<sup>2</sup> год ( $C_2$ ), средняя глубина озера увеличится до 6 м, за счет чего величина  $P_{крит}$  увеличится с 0,11 г Р/м<sup>2</sup>·год до 0,145 г Р/м<sup>2</sup>·год. Полное удаление донных отложений переводит озеро практически в мезотрофное состояние;

- предотвращение внешнего (территория водосбора) загрязнения оз. Шарташ фосфором снижает  $P_{сум}$  на величину на 0,15 г Р/м<sup>2</sup>·год, что заметно не скажется на уровне его трофности;

- регулярное проведение химической коагуляции фосфора в оз. Шарташ может снизить суммарный поток фосфора не более чем до 1,007 г Р/м<sup>2</sup>·год. Озеро будет оставаться высокоэвтрофным водоемом. Более того, метод не устраняет причин поступления фосфора, неизвестна реакция экосистемы на подобное вмешательство;

- метод технического изъятия фитопланктона эффективен лишь в периоды интенсивного «цветения» водоема в качестве косметической меры, способствующей также устранению летнего замора рыбы. Метод весьма затратен. Не устраняет причин, вызывающих повышенную интенсивность продукционных процессов. Побочный эффект – увеличение степени зарастаемости;

- изъятие продукции макрофитов из Шарташа эквивалентно разовому снижению  $P_{сум}$  на 1,880 г Р/м<sup>2</sup>·год и изменению трофического статуса до слабоэвтрофного водоема с переводом его в фитопланктонный статус. Не устраняет источник поступления биогенов, следует ожидать в последующий год увеличения биогенной нагрузки и усиленного «цветения» водоема;

- при создании в оз. Шарташ экосистемы с высокой продукцией рыб-макрофитофагов и рыб-фитопланктонофагов и их интенсивном вылове не-

перехваченный восстановительными мероприятиями поток фосфора будет не менее  $1,02 \text{ г Р/м}^2 \cdot \text{год}$ , т. е. при реализации этого метода восстановления озеро будет оставаться высокоэвтрофным водоемом;

– при повышении уровня Шарташа на 2,5 м с сохранением прежней площади зеркала (что возможно лишь при устройстве кольцевой дамбы на его берегах и наличии необходимого объема воды)  $P_{\text{крит}}$  увеличится с  $0,11 \text{ г Р/м}^2 \cdot \text{год}$  до  $0,15 \text{ г Р/м}^2 \cdot \text{год}$ , а величины  $P_{\text{сум1}}$  и  $P_{\text{сум2}}$  будут равны  $0,56 \text{ г Р/м}^2 \cdot \text{год}$ . Это средний по эффективности метод реабилитации, поскольку переводит озеро в умеренно эвтрофное состояние.

Таким образом, с точки зрения реальной возможности осуществления реабилитационных мероприятий наиболее эффективным, удаляющим источник поступления биогенов, является очистка озера от донных отложений. Методика позволяет рассчитать достаточное количество удаленных донных отложений для получения любого задаваемого трофического уровня озера (от мезотрофного до эвтрофного).

Для водоемов макрофитного типа порядок проведения выбора целесообразных реабилитационных мероприятий, по существу, аналогичный.

*Водоемы, загрязняемые техногенными химическими ингредиентами.* На примере Северского водохранилища (Средний Урал) представлено использование предложенной выше методологии выбора целесообразных методов реабилитации водоемов, загрязняемых техногенными ингредиентами. Северское водохранилище характеризуется низкой трофностью, но подвержено интенсивной антропогенной нагрузке, разделившей водоем на три зоны: северную (химическое загрязнение – соединения меди, железа, цинка, сульфаты, гидробиоценоз ацидофильный); южную (загрязнение органическими веществами, величина рН ближе к щелочной); среднюю приплотинную (гидробиоценоз смешанный). Объем водохранилища в настоящее время при отметке воды 338,35 м составляет 11,15 млн м<sup>3</sup>. Максимальные глубины – 9 м, минимальные – 0,5 м. Объем донных отложений – 1,9 млн м<sup>3</sup>. В водохранилище впадает 8 водотоков, вытекает только р. Северушка. Наибольшую долю в уровень загрязнения воды вносят соединения меди, алюминия, железа, цинка, марганца, а также фенолы и фторид-ионы,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ , фенолы, сульфаты-ионы, кислоты.

Выбор направления реабилитационных мероприятий необходимо проводить для южной и северной частей водохранилища отдельно, поскольку воздействующие на них объекты имеют разное влияние на состояние водоема. На основании полученных результатов исследования внешних и внутренних источников загрязнения Северского водохранилища проведен выбор целесообразных направлений воздействия и даны рекомендации по их реализации.

В северный рукав водохранилища впадает два водотока, оказывающих максимальное техногенное влияние, – Мертвая река и р. Зюзелька. С водами Мертвой реки за время наблюдения (7 месяцев) в водохранилище поступило  $\approx 9 \text{ т}$  серной кислоты (расчет по величине рН), 485,6 т сульфатионов, 51,6 т

фторидов и пр. (ионы меди, цинка, железа). Предлагаемое мероприятие для устранения влияния данной зоны загрязнения – нейтрализация вод реки с применением известняковых блоков соответствующих размеров, помещенных в русло Мертвой реки, с наблюдением за их трансформацией. Далее рекомендовано применение аэробных искусственных водно-болотных угодий (биоплато), на которых будут очищаться впадающие в Северный рукав воды Мертвой реки, периодически действующих ручьев и р. Зюзельки. Рассчитано количество задерживающихся на биоплато ингредиентов, указывающее на значительное снижение их концентрации на выходе из него. Необходима также рекультивация рудного поля (5 га) вблизи пос. Зюзелька, образовавшегося в результате работы карьера по добыче колчеданных руд и шахт медной руды.

В южный рукав водохранилища впадают р. Железянка (старое русло) и р. Железянка (новое русло). Даны рекомендации о необходимости превращения южной части (Железянский залив) в ботаническую площадку для доочистки поступающих вод от соединений металлов, фторидов, сульфатов, соединений групп азота и фосфора. В настоящее время рекомендуемые мероприятия по Северскому водохранилищу готовятся к внедрению и находятся на стадии проектирования.

### **Речные системы**

Для определения необходимости реабилитации речных систем предложено рассматривать совокупности антропогенного и природного воздействия: спрямление речных русел; добычу гравия и песка из русла; добычу драгоценных металлов и камней из русел дражным способом; разрыв речного континуума посредством строительства гидротехнических сооружений; истощение водных ресурсов вследствие их чрезмерного изъятия; засорение русел топляком, травой, мусором, технологическими и бытовыми отходами; загрязнение реки сточными водами (в т. ч. ливневыми с территории городов и поступающими с водой притоков); загрязнение поверхностным стоком с территории водосбора; загрязнение поверхностным стоком с территории водосбора при гидравлической добыче драгоценных металлов и камней; тепловое загрязнение воды; снижение водоудерживающей способности речных бассейнов; засорение русла реки в результате естественных природных процессов (оползни, ветровал, жизнедеятельность животных и пр.); влияние накопленного экологического ущерба.

Определяется оцениваемый показатель и виды исследований, необходимые для оценки состояния и принятия решения о реабилитации, степени изменения водного объекта. На основании полученных результатов принимается решение о проведении реабилитационных работ. Пример процедуры определения необходимости реабилитационных мероприятий при одном виде воздействия на водоток представлен в табл. 3, а в табл. 4 – пример выбора перечня реабилитационных мероприятий, позволяющих улучшить состояние водотока при указанном в таб. 3 виде воздействия.

**Таблица 3.** Виды воздействий, оцениваемый показатель, виды исследований, степень изменения, необходимость реабилитации  
 Table 3. Types of impact, an indicator to be assessed, types of research, alteration degree, and necessity for rehabilitation

Вид воздействия	Оцениваемый показатель	Исследования, необходимые для оценки состояния и принятия решения о необходимости реабилитации	Степень изменения	Необходимость в реабилитации
Спряmlенные речные русла	Изменение русловых процессов: усиление интенсивности размыва русла, увеличение количества местного твердого стока и последующее отложение наносов на нижерасположенном участке, перераспределение уклонов и изменение характера русловых деформаций.	1. Изучить на карте вид реки в плане и сравнить историческую карту с современной, определить, являются ли изменения результатом инженерных работ и т. д. 2. Оценить изменения русловых процессов: морфологических изменений русла, определение зон наносов, намыва и подмыва берегов, перереформирования dna, плановые изменения, деформации русла как по профилю, так и в плане (17). Экосистемные исследования. 3. Желательно собрать информацию о состоянии реабилитируемой реки или участка на уровне периода, предшествующего изменению водотока в результате вмешательства (гидрология, профиль и план русла, гидрохимия, состояние экосистемы). 4. Категории «основных» и «дополнительных» показателей для определения степени изменений гидроморфологических показателей состояния рек представляются в отдельном приложении (в статье не даны ввиду большого объема информации).	Усиление интенсивности размыва русла, перераспределение уклонов и изменение характера русловых деформаций от 0 до 15 % от протяженности участка включительно, увеличение местного твердого стока на участке на 15 %.	не требуется
			Усиление интенсивности размыва русла, перераспределение уклонов и изменение характера русловых деформаций от 15 % и выше протяженности участка, увеличение местного твердого стока на участке более, чем на 15 %.	требуется

**Таблица 4.** Виды воздействий, изменения, требующие проведения реабилитационных работ, необходимые реабилитационные мероприятия  
 Table 4. Types of impact, alterations that require rehabilitation works, and the necessary rehabilitation measures

Вид воздействия	Изменения, требующие проведения реабилитационных работ	Виды реабилитационных воздействий при различных степенях изменений
Спрявление русел	<p>Усиление интенсивности размыва русла, перераспределение уклонов и изменение характера русловых деформаций от 15 % и выше протяженности участка, увеличение местного твердого стока более, чем на 15 %.</p> <p>Свыше 15 % протяженности участка реки имеют изменение плановой конфигурации, продольного и поперечного профиля участка реки.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Мероприятия, направленные на возвращение плановой конфигурации участка реки, его продольного и поперечного профиля к исходным (до спрямления) на 85 % его протяженности (уменьшение скоростей на участке за счет уменьшения уклонов, что может быть достигнуто удлинением пути воды за счет меандрирования).</li> <li>2. Удаление отложившихся наносов на нижерасположенном участке до уровня естественного залегания русла.</li> <li>3. Возможная очистка старого русла до уровней естественного залегания и другие русловосстановительные работы.</li> <li>4. Прогноз состояния после реабилитации. Разработка системы мониторинга. Мониторинг.</li> </ol>

Реализация реабилитационных мероприятий должна сопровождаться организацией водопользования, предотвращающего негативное воздействие на водные объекты и соответствующего формированию антропогенной нагрузки, полученной при обосновании оздоровительных мероприятий. Разработанный для водного объекта комплекс мероприятий может содержать процедуры, которые необходимо проводить в самом водном объекте, на водосборе, локальных источниках поступления ингредиентов и т. д.

Практически все реабилитационные мероприятия, реализуемые на акватории, могут наносить ощутимый урон экосистемам водных объектов. Так, последствия дноочистительных работ могут привести к разрушению экосистемы водного объекта, на восстановление которой, но уже в новом качестве, требуется достаточно длительный период. Дноочистительные работы затратны,



разрушают экосистему водного объекта, поэтому их необходимо проводить в комплексе с другими реабилитационными мероприятиями, реализуемыми на водосборном бассейне. К их индивидуальной реализации рекомендуется прибегать только в случае, когда другие восстановительные мероприятия не дают необходимого результата [27, 28].

Проводимые на водосборах мероприятия должны быть направлены на устранение поступления в водный объект с рассеянным стоком нежелательных ингредиентов, что также приводит к некоторому перестроению водной экосистемы, освобождающейся от негативного воздействия. В целом формирование новой, полноценной водной экосистемы следует ожидать не ранее, чем через пять лет. Изменения водной и наземной экосистем и их стабилизация отслеживаются по результатам мониторинга, обязательного после проведения реабилитационных мероприятий.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ документов Счетной Палаты РФ с зафиксированным негативным результатом работы по реабилитации водных объектов по причине отсутствия единых методических документов по данному вопросу, а также ряда российских и зарубежных работ по тематике реабилитации показал, что в настоящее время не произошло заметных изменений в вопросах оздоровления водных объектов.

На базе имеющегося в ФГБУ РосНИИВХ опыта по разработке общей методологии, принципов реабилитации поверхностных водных объектов, общих действий для определения необходимости проведения реабилитационных работ, их оптимальной направленности, глубины и времени воздействия на биогеоэкосистему поверхностных водных объектов разработаны методы их реализации для каждого типа водного объекта. Для водных объектов различного типа разработаны методики определения необходимости проведения реабилитационных работ, выбора приоритетных целесообразных мероприятий. Доказана обязательность прогноза состояния водного объекта до реализации выбранных мероприятий.

Разработанные подходы направлены на достижение основной цели реабилитации – возрождения на базисе экосистемного подхода к водохозяйственной деятельности функциональной способности геоэкосистем водных объектов до состояния, при котором они смогут стабильно воспроизводить и поддерживать здоровые, экологически безопасные условия существования биоты. Реабилитация поверхностных водных объектов не является самостоятельной задачей, это составная часть комплексного использования и охраны ресурсов водных объектов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеева А.А. К вопросу экологической реабилитации водных объектов Волгоградского региона // Научное обеспечение устойчивого развития агропромышленного комплекса: сб. материалов Межд. научно-практ. конф. посвященной памяти академика РАН В.П. Зволинского и 30-летию создания ФГБНУ ПАФНЦ РАН, Соленое Займище, 10–12 августа 2021 г. Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН, 2021. С. 722–726.

2. Васильева З.Е. Реабилитация городских водных объектов // Наука и образование в XXI веке: сб. научных трудов Межд. научно-практ. конф. Тамбов, 30 сентября 2013 г. Тамбов: Консалтинговая компания Юком, 2013. С. 26–28.
3. Красногорская Н.Н., Нафикова Э.В., Соколова О.В. Экобиоинженерный подход к восстановлению и реабилитации водных объектов // Наука, образование, производство в решении экологических проблем (Экология–2017): Мат-лы XIII Межд. научно-техн. конф. Уфа, 30 апреля 2017 г. Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2017. Т. II. С. 143–146.
4. Кривицкий С.В. Экологическая реабилитация водных объектов // Экология и промышленность России. 2007. № 5. С. 20–23.
5. Кривицкий С.В. К вопросу экологической реабилитации водных объектов // Проблемы, перспективы и направления инновационного развития науки: сб. статей по итогам Межд. научно-практ. конф. Омск, 24 ноября 2017 г. Омск: Агентство международных исследований, 2017. С. 149–153.
6. Рыбкина И.Д., Стоящева Н.В. Обоснование экологической реабилитации водных объектов Алтайского края // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2014. № 2 (74). С. 4–12.
7. Рахметова А.Е., Кутузова Е.И. Состояние и экологическая реабилитация водных объектов Санкт-Петербурга // Наука среди нас. 2018. № 1 (5). С. 119–124.
8. Афонин В.А., Насипова Д.Р. Обоснование комплексных мероприятий по экологической реабилитации водных объектов урбанизированных территорий // Основы рационального природопользования: Мат-лы VI Национальной конф. с межд. участием, Саратов, 22–23 октября 2020 г. Саратов: Саратовский ГАУ, 2020. С. 14–20.
9. Ушакова И.В., Кульнев В.В. Биологическая реабилитация водных объектов и сточных вод методом коррекции альгоценоза // Коммунальный комплекс России. 2019. № 8 (182). С. 24–29.
10. Juan Wu, Shuiping Cheng, Zhu Li, Weijie Guo, Fei Zhong & Daqiang Yin. Case study on rehabilitation of a polluted urban water body in Yangtze River Basin // Environmental Science and Pollution Research. 2013. Vol. 20. P. 7038–7045.
11. Jha M., Markande Y., Markandey D. Restoration and Rejuvenation of Water Bodies Across Delhi-Ncr - An Overview // International Journal of Conservation Science. 2022. Vol. 13 (1). P. 233–248.
12. Xie Dong, Zhou Hengjie, Ji Haiting and AN Shuqing. Ecological Restoration of Degraded Wetlands in China // Journal of Resources and Ecology. 2013. Vol. 4. No. 1. P. 63–69.
13. Haichao Suia, Jihua Wanga, Zhen Lib, Qi Zenga, Xu Liua, Liu Rena, Chenyu Liua, Yanan Zhua, Lixin Lva, Qi Chea, Xiang Liub. Screening of ecological impact assessment indicators in urban water body restoration process // Ecological Indicators. 2020. Vol. 113.
14. Harshit Chawla, Santosh Kumar Singh, Anil Kumar Haritash. Reversing the damage: ecological restoration of polluted water bodies affected by pollutants due to anthropogenic activities // Environmental Science and Pollution Research. 2024. Vol. 31. P. 127–143.
15. Морозова Е.Е. Развитие механизма реализации проектов экологической реабилитации водных объектов // Eurasia Green: тезисы работ участников Межд. конкурса научно-исслед. проектов молодых ученых, Екатеринбург, 16–19 апреля 2019 г. Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2019. С. 57–63.
16. Шабанов В.А., Шабанова А.В. Управление качеством городской среды: два подхода к реабилитации водных объектов. DOI:10. / 23670/IRJ/2017.61.096.
17. Зацепин А.Н., Попов А.Н., Рыбина Е.А. Временные рекомендации по выбору метода восстановления и мелиорации водоема, Свердловск, 1986, 26 с.
18. Попов А.Н., Оболдина Г.А., Прохорова Н.Б. Концептуальные основы реабилитации поверхностных водных объектов // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2017. № 4. С. 4–17. DOI: 10.35567/1999-4508-2017-4-1.
19. Зарубина Е.Ю. Воздействие режима уровня Новосибирского водохранилища на осуществление водного и берегового-водного фитоценоза. / науч. ред. А.Г. Лапилов, Д.А. Филип-

- пов, Э.В. Гарин: мат-лы VIII Всеросс. конф. с междунар. участием по водным макрофитам, пос. Борок, 16–20 октября 2015 г. Ярославль: Филигрань. С. 14–16.
20. Vollenweider R.A. Input-output models with special reference to the phosphorus loading concept in limnology. *Schweizerish Zeitschrift von Hydrology*, 1975. Bd. 37. P. 53–83.
  21. Алимов А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб.: Наука, 2000. 147 с.
  22. Бульон В.В. Биотический поток вещества и энергии в системе «озеро и его водосбор» // *Успехи современной биологии*. 2018. Т. 138. № 5. С. 503–513.
  23. Бульон В.В. Диагностика биологической продуктивности озерных экосистем // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. 2019. № 3. С. 110–126. DOI: 10.35567/1999-4508-2019-3-6.
  24. Håkanson L. & Boulion V.V. (2002) *The Lake Foodweb – Modelling Predation and Abiotic/Biotic Interactions*. Backhuys Publishers, Leiden.
  25. Попов А.Н., Браяловская В.А., Бердышева Г.В., Гневашев М.Г. Формирование химического и гидробиологического состава вод Волчихинского и Верхне-Макаровского водохранилищ// *Охрана природных вод России*. Екатеринбург, 1992. С. 155–176.
  26. Premazzi G., Cardoso A.C. Criteria for the identification of freshwater subject to eutrophication. *Final Report EI-JRC I-21020 Ispra ITALY*, European Commission, 2001: 66 p.
  27. Прыткова М.Я. Отечественный и зарубежный опыт производства дноуглубительных и дноочистительных работ в водоемах // *Теория и практика восстановления внутренних водоемов*. СПб, 2007. С. 280–289.
  28. Попов А.Н., Павлюк Т.Е., Мухутдинов В.Ф., Загайнова Е.В., Польшгалов А.С., Иманова В.В., Милицина О.А., Бутакова Е.А. К вопросу об апробации «Пособия по выбору приоритетных действий, направленных на экологическую реабилитацию водоёмов». Сообщение 1. Выбор методов реабилитации малопроточных водоемов (на примере озера Иртяш). *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. 2018. № 3. С. 50–74. DOI: 10.35567/1999-4508-2018-3-4.

## REFERENCES

1. Matveyeva A.A. On the issue of ecological rehabilitation of the Volgograd region water bodies. *Nauchnoye obespecheniye ustoychivogo razvitiya agropromyshlennogo kompleksa: sb. materialov Mezhd. nauchno-prakt. konf., Solyonoye Zaymishche [Scientific support of agrarian sector sustainable development: proceedings of international scientific/practical conference, Solyonoye Zaymishche, August 10–12, 2021]*. RAS Caspian Agrarian Federal Scientific Center, 2021. p. 722–726.
2. Vasilyeva Z.E. Rehabilitation of urban water bodies. *Nauka i obrazovaniye v XXI veke: sb. Nauchnykh trudov Mezhd. nauchno-prakt. konf., [Science and education in XXI century: proceedings of international scientific/practical conference, Tambov. September 30, 2013]* Tambov: Yukom Consulting Company, 2013. PC. 26–28.
3. Krasnogorskaya N.N., Nafikova E.V., Sokolova O.V. Eco/bio/engineering approach to the water bodies' restoration and rehabilitation. *Nauka, obrazovaniye, proizvodstvo v resheniyi ekologicheskikh problem (Ekologia-2017). Mat-ly XIII Mezhd. nauchno-prakt. konf., Ufa. [Science, education and production in solving ecological problems (Ecology-2017). Proceedings of XIII of international scientific/practical conference, Ufa, April 30, 2017: Ufa State Aviation Technical University]*, 2017. Vol. II. P. 143–146.
4. Krivitskiy S.V. Ecological rehabilitation of water bodies. *Ekolgia i promyshlennost Rossiya [Ecology and industry of Russia]*. 2007. No. 5. P. 20–23.
5. Krivitskiy S.V. On the issue of ecological rehabilitation of water bodies. *Problemy, perspektivy i napravleniya innovatsionnogo razvitiya nauki; Sb. staey po itogam Mezhd. nauchno-prakt. konf., Omsk, 24 noyabrya, 2017 [Problems, prospects and directions of the science innovation development: proceedings of international scientific/practical conference, Omsk, November 24, 2017]* Omsk: Agency of International Studies, 2017. P. 149–153.

6. Rybkina I.D., Stoyashcheva N.V. Justification of the Alay Kray water bodies ecological rehabilitation. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzheniye [Water purification. Water treatment. Water supply]*. 2014. No. 2 (74). P. 4–12.
7. Rakhmetova A.E., Kutuzova E.I. The St. Petersburg water bodies status and ecological rehabilitation. *Nauka sredi nas [Science around us]*. 2018. No. 1 (5). P. 119–124.
8. Afonin V.A., Nasipova D.R. Substantiation of integrated measures on ecological rehabilitation of urbanized territories' water bodies. *Osnovy ratsionalnogo prirodopolzovaniya: Mat-ly VI Natsionalnoy conf. s mezhd. uchastiyem, Saratov, 22-23 oktyabry 2020 [Foundations of rational nature use: Proceedings of VI international scientific conference, Saratov, October 22-23, 2020]* Saratov: Saratov GAU, 2020. P. 14–20.
9. Ushakova I.V., Kulnev V.V. Biological rehabilitation of water bodies and waste waters with algocenosis correction. *Kommunalniy kompleks Rossiya [Municipal sector of Russia]*. 2019. No. 8 (182). P. 24–29.
10. Juan Wu, Shuiping Cheng, Zhu Li, Weijie Guo, Fei Zhong & Daqiang Yin. Case study on rehabilitation of a polluted urban water body in Yangtze River Basin. *Environmental Science and Pollution Research*. 2013. Vol. 20. P. 7038–7045.
11. Jha M., Markande Y., Markandey D. Restoration and Rejuvenation of Water Bodies Across Delhi-Ncr - An Overview. *International Journal of Conservation Science*. 2022. Vol. 13 (1). P. 233–248.
12. Xie Dong, Zhou Hengjie, Ji Haiting and AN Shuqing. Ecological Restoration of Degraded Wetlands in China. *Journal of Resources and Ecology*. 2013. Vol. 4. No. 1. P. 63–69.
13. Haichao Suia, Jihua Wang, Zhen Lib, Qi Zenga, Xu Liua, Liu Rena, Chenyu Liua, Yanan Zhua, Lixin Lva, Qi Chea, Xiang Liub. Screening of ecological impact assessment indicators in urban water body restoration process title. *Ecological Indicators*. 2020. Vol. 113.
14. Harshit Chawla, Santosh Kumar Singh, Anil Kumar Haritash. Reversing the damage: ecological restoration of polluted water bodies' affected by pollutants due to anthropogenic activities. *Environmental Science and Pollution Research*. 2024. Vol. 31. P. 127–143.
15. Morozova E.E. Development of the mechanism of the water bodies rehabilitation projects' implementation. *Eurasia Green: abstracts of proceedings of international contest of young researchers' projects, Ekaterinburg, April 16–19, 2019. Ekaterinburg: Ural State Economic University, 2019. P. 57–63.*
16. Shabanov V.A., Shabanova A.V. Management of the urban environment quality: two approaches to the water bodies' rehabilitation. DOI:10. / 23670/IRJ/2017.61.096.
17. Zatsepin A.N., Krivitskiy S.V., Rybina E.L. Provisional recommendations on the selection of a water body restoration and reclamation method, Sverdlovsk, 1986, 26 p.
18. Popov A.N., Oboldina G.A., Prokhorova N.B. Conceptual foundations of the surface water bodies' rehabilitation. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2017. № 4. P. 4–17. DOI: 10.35567/1999-4508-2017-4-1.
19. Zarubina E.Y. Impact of the Novosibirsk Reservoir level regime on the water and bank-water phytocenosis production. Edited by A.G. Lapirov, D.A. Filippov, E.V. Garin: materialy VIII Vseross. konf. s mezhdunar. uchastiyem po vodnym makrofitam [*proceedings of VII all-Russian conference with international participation devoted to aquatic macrophytes*], Borok, October 16-20, 2015. Yaroslavl: Filigran. P. 14-16 (In Russ.).
20. Vollenweider R.A. Input-output models with special reference to the phosphorus loading concept in limnology. *Schweizerish Zeitschrift von Hydrology*, 1975. Bd. 37. P. 53–83.
21. Alimov A.F. Elements of the theory of aquatic ecosystems functioning. St. Petersburg: Nauka, 2000. 147 p.
22. Boulion V.V. Biotic flow of matter and energy in the "lake and its catchment" system. *Uspekhi sovremennoy biologiyi [Achievement of contemporary biology]*. 2018. Vol. 138. No. 5. P. 503–513.
23. Boulion V.V. Diagnostics of the lake ecosystems biological productivity. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2019. No. 3. P. 110–126. DOI: 10.35567/1999-4508-2019-3-6.
24. Håkanson L. & Boulion V.V. (2002) The Lake Foodweb – Modelling Predation and Abiotic/Biotic Interactions. Backhuys Publishers, Leiden.

25. Popov A.N., Brayalovskaya V.L., Berdysheva G.V., Gnevashev M.G. Formation of the Volchihka and Verkhne-Makarovo reservoirs water chemical and hydro/biological composition. *Okhrana prirodnykh vod Rossii* [*Protection of natural waters of Russia*]. Ekaterinburg, 1992. P. 155–176.
26. Premazzi G., Cardoso A.C. Criteria for the identification of freshwater subject to eutrophication. Final Report EI-JRC I-21020 Ispra ITALY, European Commission, 2001: 66 p.
27. Prytkova M.Y. Domestic and foreign experience in the water bodies bottom deepening and cleaning. *Teoriya i praktika vosstanovleniya vnutrennikh vodoyemov* [Theory and practice of the inner water bodies' restoration]. Saint-Petersburg. 2007. P. 280–289.
28. Popov A.N., Pavluk T.E., Mukhutdinov V.F., Zagaynova E.V., Polygalov A.S., Imanova V.V., Militina O.A., Butakova E.A. On the issue of approval of the “Manual on the choosing of the priority actions aimed at the water bodies ecological rehabilitation” Communication 1. Choosing of the rehabilitation methods for low-running water bodies (the Lake Irtyash as an example). *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. No. 3, 2018. P. 50–74.

#### **Сведения об авторе:**


**Попов Александр Николаевич**, д-р техн. наук, профессор, засл. эколог РФ, ведущий отделом научно-методического обеспечения восстановления и охраны водных объектов, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Мира 23; e-mail: wrm@wrm.ru

#### **About the author:**

**Aleksandr N. Popov**, Professor, Doctor of Technical Sciences, Head, Department of scientific/methodical support of water bodies' restoration and protection, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection Ural Branch, ul. Mira, 23, Ekaterinburg, Russia; e-mail: wrm@wrm.ru

## Актуальные вопросы биоиндикации водных экосистем: российский опыт и перспективы

Т.Е. Павлюк  

 t.pavluk@mail.ru

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

### АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** Методы биологической оценки (биоиндикации) состояния водных экосистем по макрозообентосу достаточно объективно указывают на степень негативного воздействия загрязняющих веществ и иной критической хозяйственной деятельности на водные объекты. Спектр существующих методов биоиндикации довольно широк, однако не все они одинаково эффективно и объективно дают оценку трансформациям водной экосистемы. В данной статье представлен комплексный анализ методов биоиндикации, имеющих разные принципы и критерии оценки, приведен рейтинг их популярности и эффективности. **Методы.** Выполнен аналитический обзор научной информации по применяемым в России методам биоиндикации. **Результаты.** Показано, что эффективно проводить мероприятия по реабилитации водных объектов невозможно без корректной оценки их экологического состояния. Классические методы биоиндикации достаточно репрезентативно отражают экологическое состояние вод при условии их локальной адаптации, а также при подтверждении результатов оценки одного метода рядом других биотических и гидрохимических индексов. Предпочтение следует отдавать универсальным и интегральным методам биоиндикации вод (ИТК, mini SASS, энтропийный индекс), поскольку они позволяют сопоставлять разные по генезису и климатическим зонам реки, упрощают процедуру картирования качества вод на больших территориях.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** методы биоиндикации, биологический мониторинг, макрозообентос, водные экосистемы.

**Для цитирования:** Павлюк Т.Е. Актуальные вопросы биоиндикации водных экосистем: российский опыт и перспективы // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2024. № 4. С. 108–126. DOI:10.35567/19994508-2024-4-108-126.

Дата поступления 01.07.2024.

### TOPICAL ISSUES OF THE AQUATIC ECOSYSTEMS BIOINDICATION: RUSSIAN EXPERIENCE AND PROSPECTS

Timur E. Pavluk  

 t.pavluk@mail.ru

Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection Ural branch, Ekaterinburg, Russia

### ABSTRACT

**Relevance.** Methods of the aquatic ecosystems state bio/indication by macro/zoo/benthos sufficiently objectively indicate the degree of the pollutants and other critical economic activities'

negative impact upon water bodies. The range of currently available methods of bio/indication is rather wide; however, not all of them equally objectively and effectively produce assessment of aquatic system transformations. This article presents integrated analysis of the bio/indication methods of different principles and assessment criteria, and it gives rating of their popularity and effectiveness. **Methods.** Analytical review of scientific information on the methods of bio/indication applied in Russia has been performed. **Results.** It has been shown that effective rehabilitation of water bodies is impossible without correct assessment of their ecological status. Classical methods of bio/indication representationally enough reflect ecological status of waters provided their local adaptation, as well as conformation of the assessment results of one method by a number of other results of biotic and hydro/chemical indices. Universal and integral water bio/indication methods (TCI [trophic completeness index], mini SASS, and entropy index), are to be preferred as they enable to compare rivers different in terms of genesis and climate zones, and simplify the procedure of water quality mapping on the vast territories.

**Keywords:** bioindication methods, biological monitoring, macro/zoo/benthos, aquatic ecosystems.

**For citation:** Pavluk T.E. Topical issues of the aquatic ecosystems bioindication: Russian experience and prospects. *Water Resources of Russia: Problems, Technologies, management*. 2024. No. 4. P. 108–126. DOI:10.35567/19994508-2024-4-108-1026.

Received 01.07.2024.

## ВВЕДЕНИЕ

Водные ресурсы, являясь одним из базовых компонентов окружающей среды, претерпевают в последние десятилетия глобальные изменения, перераспределение по климатическим зонам, подобные тем, что испытывают большинство стран в отношении климата. Эти изменения разнонаправленные, чаще всего негативные для экономик и населения, не привязаны к границам и политическим режимам в государствах разных макрорегионов.

Глобальная озабоченность состоянием водных ресурсов крупных бассейнов мира была главным лейтмотивом дискуссий на международной конференции ЮНЕСКО «Великие реки мира –2021» (World's Large Rivers - состояние и будущее больших рек мира), прошедшей в рамках Года науки и технологий в России на базе географического факультета МГУ совместно с Венским университетом природных ресурсов и наук о Земле (University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, Austria). Более 200 ученых из 41 страны мира обсудили проблемы и вызовы, стоящие сегодня в области гидрологии, гидроэкологии и гидрохимии, исследования русловых процессов и загрязнения рек, управления водным хозяйством, а также утвердили ряд инициатив по международному взаимодействию и изучению изменений больших рек. В частности, было принято решение по формированию Международной панели экспертов по изучению изменений больших рек (Intergovernmental Panel on river change, IPRC). Предполагается, что эта программа, реализуемая под эгидой ЮНЕСКО, станет аналогом известной программы по изменению климата IPCC (Intergovernmental Panel on climate change).

Важным направлением в области контроля изменений водных экосистем является биологический мониторинг и методы биоиндикации, используемые для выявления негативных структурных изменений, разрушающих экологические связи внутри сообществ водных организмов. Обнаружить и формализовать эти негативные экологические изменения можно с помощью методов биоиндикации и биотестирования. Подавляющее большинство существующих методов биоиндикации основано на изучении донных беспозвоночных – макрозообентоса.

Стандартизированные еще в СССР и до сих пор широко используемые в России методы биоиндикации, базирующиеся, как правило, на сапробной чувствительности организмов<sup>1</sup>, часто выдают неудовлетворительные результаты, занижающие или завышающие фактическое состояние водного объекта. В связи с этим постоянно проводятся исследования по анализу и совершенствованию методов биоиндикации экологического состояния водных объектов разного генезиса [1].

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В представленном обзоре методов биологического анализа качества вод или методов оценки экологического состояния водных объектов, иначе называемых биоиндикацией, приведены материалы III Конференции по биоиндикации, прошедшей в Санкт-Петербурге в 2017 г. [1], материалы 12 съезда ГБО (Гидробиологическое общество) при РАН [2] и других информационных источников.

Анализ исследований последних десятилетий показал, что в России спектр используемых методов биоиндикации достаточно стабилен. По частоте применения можно привести следующий перечень индексов: Шеннона-Вивера, сапробности Пантле и Букка, Вудивисса, Гуднайта-Уитлея, Балушкиной, ЕРТ, ВМWP, Multimetric index (MMIF), ASPT. Несмотря на то что индексы сапробности, Вудивисса и Гуднайта-Уитлея имеют ряд существенных недостатков, проявляющихся в грубой недооценке, либо переоценке экологической ситуации на конкретных водотоках, они неизменно остаются популярными вследствие простоты в использовании и того факта, что они официально внесены в ГОСТ 17.1.3.07-82 «Правила контроля качества воды водоемов и водотоков»<sup>1</sup>. Это обстоятельство позволяет федеральной системе по мониторингу окружающей среды Росгидромета использовать их как обязательные методы для оценки качества воды поверхностных водных объектов.

В основе всех перечисленных систем биоиндикации лежит использование организмов макрозообентоса как индикаторов загрязнения воды и донных отложений. К макрозообентосу относят виды водных организмов, имеющих линейный размер более 2 мм и обитающих на донных грунтах, субстратах, погруженных растениях. Эти животные имеют повсеместное распростране-

<sup>1</sup>ГОСТ 17.1.3.07-82 Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков.



ние, что позволяет получать сопоставимые результаты оценки для всех регионов, особенно при использовании универсальных и интегральных методов биоиндикации, например, ИТК [3, 4], КИСС [5], КИЗ [6], mini SASS<sup>2</sup>.

В рамках данного исследования практики применения методов биоиндикации вод по организмам макрозообентоса проведен анализ частоты их использования, обозначены преимущества и недостатки методов, рассмотрены перспективы дальнейшего развития прикладных исследований биологического анализа состояния водных экосистем.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Интерес к методам биологического анализа водных экосистем в России не ослабевает уже несколько десятилетий, что подтверждается регулярным проведением тематических конференций, школ и семинаров как международного, так и регионального формата. Например, в 2006, 2011 и 2017 годах были организованы международные конференции по теме «Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем», на которых обсуждались методы биоиндикации и критерии оценки экологического состояния вод [1, 7, 8]. В настоящее время биологическим методам оценки состояния водных экосистем отдается приоритет перед химическими и физическими методами. В частности, это было продемонстрировано положениями Европейской директивы по воде – основном документе Евросоюза по контролю за состоянием и управлением качеством водных ресурсов<sup>3</sup>. Основная цель директивы – достижение «хорошего экологического статуса» для всех водных систем. Очевидно, что для определения экологического статуса биологическая составляющая, основанная на данных о сообществах водных организмов, является решающей [9].

Экологическое восстановление бассейнов рек стимулирует возобновление утраченных экологических функций, вносит вклад в рост биологического разнообразия. Еще одной причиной повышения статуса биологического контроля в мониторинге экосистем можно указать тот факт, что сообщества водных организмов отражают совокупное воздействие факторов среды на качество поверхностных вод.

В настоящее время в прикладных исследованиях по гидробиологии методы биоиндикации используются в каждом случае, когда речь заходит об экологическом состоянии водного объекта. Каким методам биологической оценки отдают предпочтение гидробиологи и экологи России и сопредельных стран показано в табл. 1, составленной по материалам III Международной конференции по биоиндикации в мониторинге пресноводных экосистем [1].

Наиболее популярным компонентом гидробиоценоза, который привлекается для биоиндикации вод, является сообщество макрозообентоса (табл. 1).

<sup>2</sup> Mini SASS – Интернет ресурс с описанием глобального метода биоиндикации рек mini SASS, анализом и представлением результатов по макрозообентосу: [www.minisass.org](http://www.minisass.org)

<sup>3</sup> Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of The Council of 23 October 2000 establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy (Water Framework Directive).

**Таблица 1.** Предпочтения в использовании методов биоиндикации в гидробиологических исследованиях  
 Table 1. Preferences in the bioindication methods in hydro/biological researches

Метод, в порядке снижения популярности	Количество докладов, в кото- рых использован метод биоиндикации, %	Компонент гидробиоценоза, для которого применяется метод, % от группы			
		зообентос	зооплан- ктон	фито- планктон	фитопе- рифитон
Индекс Шеннона – Винера	<b>21,0</b>	<b>11,0</b>	4,5	4,5	1,0
Индекс сапробности Пантле и Букка	13,0	2,8	4,6	<b>5,5</b>	1,0
Индекс Вудивисса	<b>6,4</b>	<b>6,4</b>			
Индекс Гуднайта –Уитлея	<b>6,4</b>	<b>6,4</b>			
Индекс Балуткиной	3,7	3,7			
ЕРТ	2,8	2,8			
BMWP	1,8	1,8			
Multimetric index	1,8	1,0			1,0
ASPT	1,0				

*Примечание:* голубой – частое использование метода; розовый – регулярное использование; светло-зеленый – редкое использование метода.

*Индекс Шеннона–Винера (повсеместно упоминаемый просто как индекс Шеннона).* Достаточно широко в современных гидробиологических исследованиях используется информационный подход – индекс Шеннона [10], который указывает на некую нормальность распределения видов в структуре сообщества организмов. Зачастую не качество воды, а другие экологические факторы водной среды приводят к низким значениям данного индекса, что затрудняет интерпретацию полученных величин.

$$H = - \sum_{i=1}^k P_i \cdot \log_2 P_i \tag{1}$$

где H – значение индекса Шеннона;

P – доля особей i-го вида среди всех особей сообщества;

K – количество видов в сообществе.

Этот индекс суммирует большое количество информации о численности и видовом составе организмов, учитывая число видов и степень их доминирования, и, скорее всего, несет информационную нагрузку для исследователей, но не описывает организационные особенности экосистемы [11]. Информацию следует рассматривать как некую характеристику внутренней организации системы, которая проявляется при воздействии объектов и процессов.

*Индекс сапробности.* Следующим по популярности является индекс сапробности Пантле и Букка [12]. Авторы наделили каждый вид-индикатор своей степенью сапробности, которая колеблется от 0 до 4. Количество (обилие) попавших в пробу особей каждого вида оценили следующим образом: 1 – единично и очень редко; 3 – редко и часто; 5 – много и масса.

В 1961 г. этот метод модифицировали М. Zelink и Р. Marvan [13], а в 1967 г. метод Пантле и Бука модифицировал V. Sladecsek [14]. По формуле производился расчет сапробности исследуемого участка водоема:

$$S = \Sigma s \cdot h / \Sigma h, \quad (2)$$

где  $S$  – величина индекса сапробности;

$h$  – оценка обилия каждого вида-индикатора;

$s$  – степень сапробности вида-индикатора.

Метод Пантле–Букка в классической модификации Сладечека имеет два существенных недостатка: требует сбора и обработки количественных проб (что весьма трудоемко) и определения животных до вида (что не всегда возможно). Кроме того, известные для этого индекса списки видов-индикаторов составлены в Западной Европе и не включают многие виды европейской и восточной частей территории России. Основным недостатком метода, отмеченным В.А. Абакумовым и В.В. Полищуком [15], является также условие, что он предполагает строгую принадлежность определенного вида к одной зоне сапробности, чего практически не бывает, а вид встречается, как правило, в зонах с разным содержанием органического вещества. В ряде модификаций индекса сапробности вместо индикаторных видов используются роды или даже семейства гидробионтов.

*Индекс Вудивисса* – еще один хорошо известный метод системы биологического анализа вод. Автор разработал его в 1956 г., основываясь на богатом фактическом материале [16]. При выборе ключевых групп индикаторами изменения качества воды от «очень загрязненной» до «чистой» Вудивисс выбрал организмы, наиболее широко распространенные в бассейне р. Трент: Plesoptera, Ephemeroptera, Trichoptera, Gammarus, Asellus, Tubificidae и Chironomus thummi. Он проанализировал около 500 проб и отметил, что поденки *Baetis rhodani* несколько выносливее к загрязнению, чем остальные представители этого семейства и подобны в этом отношении Trichoptera. А поскольку *B. rhodani* встречается очень часто, исследователь включил этот вид в систему классификации наряду с Trichoptera.

Многие работы посвящены различным аспектам применения и региональной адаптации индекса Вудивисса в России. Так, Н.А. Дзюбан и Н.Б. Слободчиков [17] отметили, что данный метод доступен, экономичен по затратам, но имеет один недостаток: на 57 % шкала организмов состоит из гетеротопных видов, численность которых подвержена резким колебаниям в связи с вылетом имаго. Поэтому при одно-двухразовом отборе проб представители этой группировки организмов могут не встретиться, хотя и обитают в водотоке, и река получит заниженный индекс. В других случаях ситуация с загрязнением реки по индексу Вудивисса выглядит лучше, чем есть на самом деле [18].

*Индекс Гуднайта–Уитлея* очень специфичен [19], он относительно хорошо работает при органическом загрязнении воды бытовыми стоками, но уже при появлении производственных стоков (соли металлов, нефтепродукты) дает искаженные оценки качества воды. Этот показатель определяется по количественным пробам макробентоса. Считается, что доля олигохет тем больше, чем сильнее загрязнена вода и дно (т. е. чем больше органических веществ). Индекс очень чувствителен к типу грунта, удовлетворительно работает лишь на мягких грунтах (илах и песках), где могут жить олигохеты:

$$A=O/V \times 100, \tag{3}$$

где А – величина олигохетного индекса;

О – число олигохет в пробе;

В – число всех особей макрозообентоса в пробе.

Олигохетный индекс дает значительную погрешность при определении качества воды, в странах ЕС практически не используется из-за малого числа градаций качества [9].

*Индекс Балушкиной* – еще один хорошо известный метод биоиндикации [20] – основан на использовании в качестве биоиндикаторов представителей семейства хирономид. Под влиянием загрязнения происходит снижение числа видов хирономид и смена их видового состава. В частности, при загрязнении воды закономерно изменяется соотношение численности личинок, принадлежащих к подсемействам Chironomidae, Orthoclaadiinae, Tanipodinae. Предложенный индекс, отражающий это соотношение, может служить для качественной оценки загрязненности вод:

$$K = (a_t + 0.5 a_{ch}) / a_o, \tag{4}$$

где К – величина индекса Балушкиной;

$a_t$ ,  $a_{ch}$  и  $a_o$  – смещенные относительные численности отдельных групп хирономид: Tanipodinae ( $a_t$ ), Chironomidae ( $a_{ch}$ ), Orthoclaadiinae и Diamesinae ( $a_o$ ), соответственно:

$$a = N + 10,$$

где N – относительная численность особей всех видов данного подсемейства в процентах от общей численности особей всех хирономид.

Индекс Балушкиной может варьировать в диапазоне от 0.136 до 11.5 (табл. 2).

**Таблица 2.** Величины индекса Балушкиной (IB) и качество воды [9]

Table 2. The index of Balushkina (IB) values and water quality [9]

Значения индекса (IB)	Степень загрязнения
0,136 – 1,08	чистые
1,08 – 6,5	умеренно загрязненные
6,5– 9,0	загрязненные
9,0– 11,5	грязные

По мнению В.П. Семенченко [9], преимуществом предложенного индекса является то, что его расчет прост и не требует тщательного определения видового состава личинок хирономид, при этом он достаточно реально отражает степень загрязнения. Однако на величину индекса может влиять сезонная динамика вылета отдельных систематических групп хирономид, а также размер пробы, особенно в тех случаях, когда численность хирономид невелика. Кроме того, в связи с тем, что в основе расчета индекса используются только хирономиды, индекс в большей степени отражает состояние донных отложений, и в меньшей – качество воды.

Хорошие результаты данный индекс демонстрирует при оценке экологического состояния водоемов – озер, водохранилищ, прудов, заливов. Однако индекс IB дает значительную погрешность при определении качества воды рек.

*ЕРТ индекс.* Следует отметить популярность индекса ЕРТ, поскольку он требует учета всего трех отрядов личинок насекомых: поденок, веснянок и ручейников (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera). По данным [21], индекс ЕРТ показывает наиболее сильную корреляцию с другими биотическими индексами. Для расчета данного индекса необходимо определение личинок насекомых до вида. Однако оценочная шкала по индексу ЕРТ существенно различается по странам и бассейнам рек: например, шкала для альпийских рек совершенно не подойдет для рек равнинной части в Поволжье. Для каждого бассейна, климатической зоны необходима разработка своей размерности оценочной шкалы. Так, для рек Среднего Урала вполне рабочей оказалась шкала штата Северная Каролина (табл. 3)<sup>4</sup>.

**Таблица 3.** Пример ранжирования индекса ЕРТ по классам качества и его величины

Table 3. An example of EPT index ranking by quality classes and its value

Класс	Отлично (I)	Хорошо (II)	Умеренное загрязнение (III)	Загрязненное состояние (IV)	Очень плохое состояние (V)
Значение индекса	ЕРТ > 27	21–27	14–20	7–13	0–6

Существует модификация индекса ЕРТ, в которой выражается суммарная доля видов поденок + веснянок + ручейников среди всего перечня видов макрозообентоса, обитающих на конкретном участке реки. Индекс не подходит для оценки экологического качества стоячих водоемов, где просто по условиям почти не обитают веснянки и поденки, вследствие чего качество воды будет недооценено.

*Индекс ВМВП.* Еще одним хорошо известным среди гидробиологов индексом для оценки экологического качества воды в реках является Biological Monitoring Working Party Index (BMWP) [22, 23]. Индекс разработан Институтом пресноводной экологии (Великобритания) в рамках системы RIVPACS, которая является основной для оценки состояния текучих вод в Великобритании и Австралии. Данный индекс широко используется в странах ЕС.

<sup>4</sup>NCDEHNR. 1997. North Carolina Department of Environment, Health, and Natural Resources. Standard operating procedures for biological monitoring. Environmental Sciences Branch Biological Assessment Group. Division of Water. Water Quality Section. SWRP. 1996. Student Watershed Research.

По методологии каждому таксону макрозообентоса в пробах присваивается определенный балл, затем баллы суммируются. Полученная сумма указывает на состояние гидробиоценоза на участке реки (табл. 4).

**Таблица 4.** Величины индекса BMWP и качество воды [9]

Table 4. The BMWP index values and water quality [9]

Значение индекса	Класс и оценка качества
>150	Отличное (I)
101–150	Очень хорошее (II)
51–100	Хорошее (III)
26–50	Невысокое (IV)
<25	Плохое (V)

Индекс BMWP подвергался различным региональным модификациям: для Испании [24], Германии [25], Польши [26] и других стран. Индекс BMWP достаточно объективно оценивает качество воды в реках, но не рекомендуется для стоячих водоемов, оценки получаются заниженными. Также следует отметить, что данный метод биоиндикации лучше работает в адаптированном для каждого региона, страны виде, т. к. не обладает универсальностью.

*Мультипараметровые индексы.* Достаточно стабильным остается интерес к мультипараметровым индексам, таким как мультипараметровый индекс макробеспозвоночных Фландрии [27] – Multimetrix Macroinvertebrate Index Flanders (MMIF). Данный индекс включает расчет по пяти критериям: общее число таксонов макрозообентоса; индекс ЕРТ; число чувствительных таксонов макрозообентоса с баллом устойчивости >5, кроме таксонов из группы ЕРТ; индекс Шеннона–Винера; средний балл чувствительности всех таксонов макрозообентоса.

Индекс позволяет сравнить наблюдения с фоновыми условиями водного объекта в хорошем состоянии при использовании коэффициента экологического качества (EQR). Водные объекты подразделяются на пять категорий, которые отражают «очень плохое» (0,00–0,19), «плохое» (0,20–0,39), «умеренное» (0,40–0,59), «хорошее» (0,60–0,79) и «очень хорошее» (0,80–1,00) состояние качества воды. Индекс MMIF зависит от типа водного объекта, его оценка специфична и всегда должна увязываться с ним. В частности, выделяется восемь типов водотоков, определяемых размером водосборной площади, и четыре типа озерных экосистем, выделяемых по водородному показателю и минерализации воды. Результаты оценок экологического состояния по мультипараметровым индексам стабильны, но территориально и климатически специфичны, хорошо работают на локальных территориях, для которых они были разработаны.

Одной из новейших разработок в группе мультипараметровых индексов является комплексный мультиметрический индекс Т.А. Горбуновой, разрабо-

танный для рек региона Большого Сочи [28]. Рассчитанный мультиметрический индекс (ММИ) представляет взвешенное среднее пяти методов оценки: индекс видового разнообразия Шеннона, индекс разнообразия Маргалефа, индекс доминирования Бергер-Паркера, биотический индекс, характеризующий степень толерантности гидробионтов к эвтрофикации среды – QMCI [29] и определение хронической токсичности речной воды по стандартизированной методике на основании показаний выживаемости 50 % тест-объектов (LT50) по четырехбалльной системе Строганова<sup>5</sup>. Мультиметрический индекс демонстрирует чувствительность к факторам воздействия, вызывающим эвтрофикацию водоема. При этом наблюдается сравнительно слабая корреляция ММИ и его компонентов с концентрацией взвешенных веществ. В свою очередь, отмечена высокая зависимость биотических показателей от прозрачности воды и интенсивности осадконакопления, как следствия поступления в водоем взвешенных веществ. Это может объясняться тем, что организмы макрозообентоса не демонстрируют краткосрочной реакции на залповые сбросы твердого стока, но в ответ на изменившиеся условия существования в сообществах наблюдаются структурные изменения – затруднение физиологических процессов, разрушение субстрата и привычной кормовой базы.

*Индекс ASPT.* Последним в ряду популярных в России индексов биоиндикации следует упомянуть ASPT (Average Score Per Taxon Index). Данный индекс является производным от BMWP и рассчитывается по формуле:

$$ASPT = BMWP / \text{число обнаруженных таксономических групп.}$$

В отличие от BMWP данный индекс имеет семь градаций качества воды (табл. 5).

**Таблица 5.** Величины индекса ASPT и качество воды [9]  
Table 5. The ASPT index values and water quality [9]

ASPT значение	Качество воды	Рейтинг
5+	прекрасное	7
4,5–4,9	очень хорошее	6
4,1–4,4	хорошее	5
3,6–4,0	посредственное	4
3,1–3,5	скорее плохое	3
2,1–3,0	плохое	2
0–2,0	очень плохое	1

<sup>5</sup> ГОСТ Р 56236-2014 (ИСО 6341:2012) Вода. Определение токсичности по выживаемости пресноводных ракообразных *Daphnia magna* Straus. Национальный Стандарт Российской Федерации. Вода. Дата введ. 2016.01.01. 40 с.

Индекс ASPT имеет свойство уменьшать вклад случайных таксономических групп, обнаруженных в таксонах с высокой балльной оценкой. В связи с этим, наряду с BMWP, совместное использование этих двух индексов позволяет более реалистично оценивать качество воды [9]. В то же время данный индекс, при определенных условиях, переоценивает качество воды, т. к. содержит недостаточное количество устойчивых к загрязнению таксонов, в частности, личинок двукрылых насекомых [30].

### Разработки последних лет

подавляющее большинство методов биоиндикации идеально работают для автохтонного региона, водного бассейна, на материале которого шла разработка конкретного метода. При проведении биотической оценки состояния водной экосистемы в другом экорегионе начинают проявляться отклонения в интерпретации истинного состояния водного объекта, возникают широкие флуктуации, пере- и недооценки уровня антропогенного воздействия на водный объект. В таких случаях для минимизации ошибок приходится прибегать к привлечению нескольких методов биоиндикации с последующим усреднением полученных оценок, либо проводить региональную адаптацию метода к специфическим условиям региона.

Все чаще предлагается иной подход – внедрение универсальных, глобальных методов биоиндикации, слабочувствительных к региональным особенностям водных экосистем. Такой универсальностью обладают, как ни странно, информационные индексы, например, Шеннона–Винера, и ряд относительно новых глобальных индексов, таких как ИТК (индекс трофической комплектности) [3, 4], mini-SASS (Stream Assessment Scoring System) [8], энтропийный индекс водных экосистем<sup>6</sup> [31].

*Индекс трофической комплектности (ИТК)* был разработан как индикатор функционирования речных, но оказался вполне работоспособным для малопроточных и озерных экосистем [3, 4]. ИТК принадлежит к группе индексов, основанных на трофических отношениях, учитывающих присутствие трофических групп в сообществе макрозообентоса. В основе индекса лежит гипотеза полной реализации трофических связей в гидробиоценозе при нормальном протекании биологических процессов (все трофические ниши реализованы и заняты). В методе ИТК предлагается оригинальная трофическая классификация макрозообентоса. Если антропогенное воздействие фундаментально затрагивает передачу энергии и органического вещества в экосистеме, то структура макрозообентоса также изменяется, сначала исчезают чувствительные виды, а затем и целые трофические группы макрозообентоса.

Работоспособность ИТК проверялась на основе данных, полученных с множества рек, в разной степени подверженных антропогенному воздействию. В чистых реках, водосборный бассейн которых превышает 70 км<sup>2</sup>, трофическое разнообразие макрозообентоса реализуется полностью, независимо от порядка водотока и его географического расположения (рисунок).

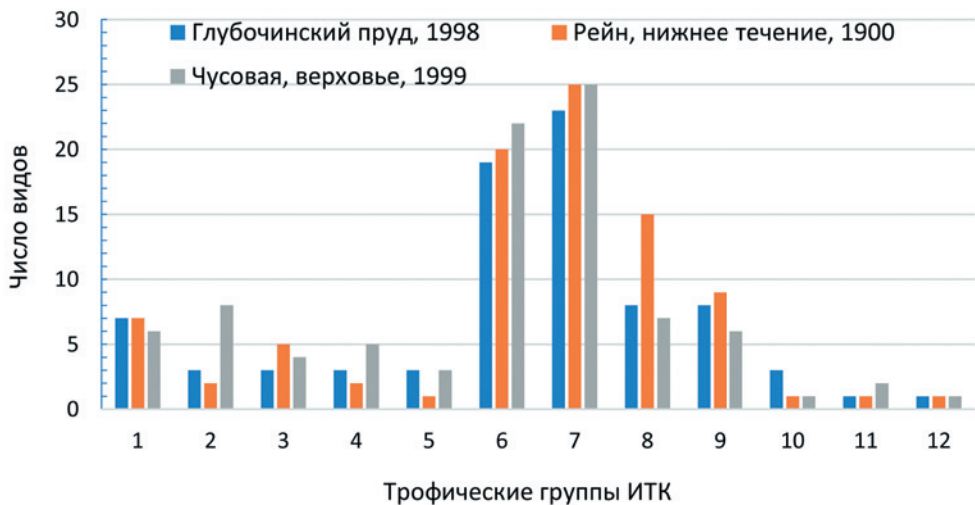
<sup>6</sup> Патент РФ RU2721713C1. Способ оценки экологического состояния водных объектов / Трофимчук М.М. Заявл. 21.10.2019. Оpubл. 21.05.2020.



Реки же с величиной бассейна менее 70 км<sup>2</sup> входят в категорию малых рек, ручьев, где часто не наблюдается полной реализации всех трофических ниш. ИТК в таких реках будет недооценивать экологическое качество, но при условии выбора чистого фонового участка данный метод биоиндикации также хорошо применим для сопоставления ситуации на контрольных створах с выбранным фоном. На эту функциональную особенность малых рек также обращено внимание в упомянутом выше методе ММIF, где реки с площадью водосборного бассейна менее 50 км<sup>2</sup> выделяются как системы особого типа со своей оценочной шкалой [27]. Так, в исследованиях на р. Комаровка (юг Дальнего Востока) заметное увеличение таксономического разнообразия было установлено до водосборной площади 60–70 км<sup>2</sup> [32], причем не только в отношении альгоценоза, но и макрозообентофауны [33]. При возрастании площади бассейна темпы увеличения таксономического разнообразия гидробиоценоза практически не изменялись.

Трофическая структура макрозообентоценоза по ИТК обладает динамической стабильностью, статистически значимой сезонной вариации результатов не обнаружено. Имеются определенные наработки в установлении причинно-следственных связей между типом антропогенного воздействия и характерными изменениями в трофической структуре макрозообентоса.

Программа с открытым онлайн доступом помогает рассчитать значение индекса ИТК по видовому составу макрозообентоса на участке водного объекта (MaTroS)<sup>7</sup>.



**Рисунок.** Распределение видов макрозообентоса по трофическим группам ИТК в водных объектах разного генезиса и экорегионов.

Figure. Distribution of the macro/zoo/benthos species by TCI trophic groups in water bodies of different genesis and eco/regions.

<sup>7</sup> MaTroS-онлайн. Программа по расчету значения ИТК. Режим доступа: <http://macro.nemi-ekb.ru/index.php?r=site/login>.

*Глобальная система оценки водотоков (miniSASS).* MiniSASS (Stream Assessment Scoring System) – это метод биоиндикации водотоков разработан для широкой общественности, отличается простотой, может использоваться для мониторинга общего состояния речных экосистем. По составу проб макрозообентоса в зависимости от того, какие группы обнаружены, можно определить общее экологическое благополучие реки и качество воды. От пользователя требуется минимальная квалификация, позволяющая различать 13 групп донных организмов. Итоговая пятибалльная оценка показывает класс здоровья реки, варьирующийся от «естественного» до «очень плохого». Результаты могут быть размещены на открытой интернет-платформе Google Earth (miniSASS) для всеобщего обозрения, анализа, обмена данными. С помощью miniSASS можно следить за качеством воды в реках любого региона, исследовать причины, по которым ухудшилось качество воды и принимать участие в мероприятиях по улучшению состояния водных ресурсов.

Изначально индекс miniSASS разрабатывался для Южной Африки, но опыт показал его адекватное использование на всех континентах без каких-либо региональных изменений (Эфиопия, Индия, Зимбабве, Австралия, Канада, ЮАР и др.). Данный метод биоиндикации принадлежит к так называемым инструментам «гражданской науки», когда широкие слои общества привлекаются к исследованиям состояния природных ресурсов.

Справочные таблицы с иллюстрациями помогают пользователям установить наличие повсеместно распространенных водных беспозвоночных из 13 групп с разным уровнем чувствительности к загрязнению воды. Степени чувствительности обнаруженных групп беспозвоночных суммируются и делятся на число групп, определяется среднее значение чувствительности исследуемого сообщества для участка реки, устанавливается категория, класс качества воды по табл. 6.

**Таблица 6.** Значения индекса mini SASS и соответствующие классы качества воды [MiniSASS]

Table 6. The mini SASS index values and corresponding water quality classes [MiniSASS]

Экологическое состояние (класс)		Категория водотока, реки	
		Песчаный грунт	Каменистый грунт
I	Природные фоновые условия	> 6,9	> 7,2
II	Хорошие условия, небольшие изменения	5,6 – 6,8	6,2 – 7,2
III	Среднее состояние, умеренные изменения	5,4 – 5,8	5,7 – 6,1
IV	Плохое состояние, значительные изменения в качестве воды	4,8 – 5,3	5,3 – 5,6
V	Очень плохое состояние, критические изменения в качестве воды	< 4,8	< 5,3

*Энтропийный индекс водных экосистем.* Это оригинальное решение проблемы интегральной оценки экологического состояния водных объектов получено в области термодинамики с ее макроскопическими подходами в описании сложных самоорганизующихся систем. Основой для расчета изменения энтропии водных экосистем в зависимости от условий существования выбраны гидрохимические показатели, такие как концентрация растворенного кислорода и температура воды<sup>6</sup> [31].

На ряде практических примеров продемонстрировано применение энтропийного индекса для оценки экологического состояния широкого спектра водных объектов различной типологии, генезиса, с различными гидрологическими и гидрохимическими характеристиками и уровнем загрязнения.

Состояние водных экосистем на основе изменения их энтропии рассчитывается с помощью энтропийного индекса по формуле:

$$\Delta S_t = \ln T_2 / T_1, \quad (5)$$

где  $\Delta S_t$  – величина энтропийного индекса;

$T_1$  – температура воды в водном объекте (по шкале Кельвина);

$T_2$  – температура воды (по шкале Кельвина), соответствующая равновесной концентрации кислорода (100 % насыщения) для измеренной концентрации кислорода в воде (Патент РФ RU2721713C1).

В табл. 7 дана градация классов состояния водной экосистемы по значению изменения энтропии.

**Таблица 7.** Классификация экологического состояния вод по энтропийному индексу [31]

Table 7. Water ecological quality classification in terms of the entropy index [31]

Класс состояния	Энтропийный индекс	Экологическое состояние
1	-0,123 – 0,062	предельно благополучное
2	0,063 – 0,124	благополучное
3	0,125 – 0,187	удовлетворительное
4	0,188 – 0,249	неблагополучное
5	0,250 – 0,312	предельно неблагоприятное

В основе данного метода лежит представление о биотическом балансе вещества и энергии, сбалансированности процессов первичного фотосинтетического продуцирования и деструкции органического вещества. Изменение баланса, вызванное как естественными причинами, так и негативными антропогенными воздействиями, сопровождается соответствующим изменением энтропии водной экосистемы. Таким образом, изменение энтропии экосистемы (энтропийный индекс) характеризует изменение ее состояния. Рост энтропии свидетельствует об ухудшении условий существования экосистемы, усилении процессов деградации.

Хотя сам метод прямо не принадлежит к биологическим методам индикации, тем не менее, он базируется на функциональных процессах, протекающих в экосистемах. Несмотря на свою привлекательность и хорошую теоретическую обоснованность в терминах термодинамики, его эффективность и соразмерность с истинными методами биоиндикации (оценка по составу и структуре гидробионтов) требуют дополнительной апробации на результатах прикладных исследований водных экосистем.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Корректная оценка экологического состояния водного объекта актуальна для управления и рационального использования водных ресурсов, принятия своевременных решений по предотвращению негативных последствий хозяйственной деятельности, сохранению и восстановлению водных экосистем. Определение нормального для данных физико-химических условий водной среды состояния водной экосистемы позволяет оценить эффективность проводимых мероприятий по реабилитации водных объектов.

Классические методы биоиндикации, построенные на принципах биоразнообразия и чувствительности гидробионтов к негативным факторам водной среды, достаточно репрезентативно отражают экологическое состояние вод при условии их локальной адаптации, а также при подтверждении результатов оценки одного метода рядом других биотических и гидрохимических индексов.

В последние годы приходит понимание того, что универсальные и интегральные методы биоиндикации вод (ИТК, mini SASS, энтропийный индекс) предпочтительнее для использования, поскольку позволяют сопоставлять разные по генезису и климатическим зонам водные объекты, упрощают процедуру картирования качества вод на больших территориях. Изначально приспособленные для специфических типов рек и регионов индексы всегда будут требовать адаптации в условиях использования в новом регионе.

Вопрос сходимости результатов биоиндикации по универсальным методам, построенным на разных функциональных принципах (трофическая структура, устойчивость крупных таксонов к негативным факторам, термодинамическое равновесие в экосистеме) требует дальнейшей проверки, практических тестов по интеркалибрации результатов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем III: Мат-лы Межд. конф. / под ред. В.А. Румянцева, И.С. Трифионовой. СПб.: Свое издательство, 2017. 400 с.
2. XII Съезд Гидробиологического общества при РАН: тезисы докладов, г. Петрозаводск, 16 сентября – 20 сентября 2019 г. / отв. ред. Н. В. Ильмаст. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2019. 575 с.
3. Pavluk T.I., Abraham bij de Vaate & Heather A. Leslie. Development of an Index of Trophic Completeness for benthic macroinvertebrate communities in flowing waters. *Hydrobiologia* Vol. 427. Kluwer Academic Publishers, 2000. P. 135–141.
4. Bij de Vaate A., Pavluk T. Practicability of the Index of Trophic Completeness for running waters. *Hydrobiologia*. Vol. 519. No. 1–3. Kluwer Academic Publisher, 2004. P. 49–60.
5. Баканов А.И. Способ ранжирования гидробиологических данных в зависимости от экологической обстановки в водоеме // Биология внутренних вод. 1997. № 1. С. 53–58.
6. Баканов А.И. Использование комбинированных индексов для мониторинга пресноводных водоемов по зообентосу // Водные ресурсы. 1999. Т. 26. № 1. С. 108–111.
7. Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем: сборник материалов Межд. конф., Санкт-Петербург, 23–27 октября 2006 г. / ред. В. А. Румянцев, И. С. Трифионова. СПб.: ЛЕМА, 2007. 338 с.
8. Материалы II Международной конференции «Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем». Санкт-Петербург, 10–14 октября 2011 г. 224 с.
9. Семенченко В.П. Принципы и системы биоиндикации текучих вод. Мн.: Орех, 2004, 125 с.
10. Одум Ю. Экология: в 2-х т. М.: Мир, 1986. Т. 1. 328 с., Т. 2. 376 с.
11. Алимов А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб.: Наука, 2000. – 147 с.
12. Pantle E. and Buck H. Die Biologische Uberwachung der Gewässer und Die Darstellung der Ergebnisse. *Gas- und Wasserfach*, 1955. Vol. 96, No. 18. P. 1–604.
13. Zelinka M., Marvan P. Zur Präzisierung der biologischenklassifikation der Reinheit fließender Gewässer. *Archive of Hydrobiology*. 1961. Vol. 57. P. 389–407.
14. Sládeček, V. The ecological and physiological trends in the saprobiology. *Hydrobiologia*. 1967. Vol. 30. P. 513–526. DOI:10.1007/BF00964030.
15. Абакумов В.А., Полищук В.В. Сопоставление систем биологической индикации, апробированных во время совместных советско-английских исследований на базе Института гидробиологии АН УССР / Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям. Л.: Гидрометеиздат, 1981. С. 81–117.
16. Woodiwiss F.S. The biological system of stream classification used by the Trent River Board. *Chemistry and Industry*. 1964.No. 14. P. 443–447.
17. Дзюбан Н.А., Слободчиков Н.Б. Индикация пресных вод по макрозообентосу // 5 съезд Всесоюзного гидробиологического общества. Ч. 2. Тольятти, 1986. С. 189–190.
18. Павлюк Т.Е. Использование трофической структуры сообществ донных беспозвоночных для оценки экологического состояния водотоков: автореф. дис. ... кан. биол. наук. Екатеринбург, 1998. 204 с.
19. Goodnight C. Y., Whitley L. S. Oligochaetas as indicators of pollution. *Proceedings of 15th International Waste Conference*, 1961.Vol. 106.
20. Балушкина Е.В. Хирономиды как индикаторы степени загрязнения воды : в кн. Методы биологического анализа пресных вод. Л., 1976. С. 106–118.
21. Mandaville, S.M. Benthic Macroinvertebrates in Freshwater. *Taxa Tolerance Values, Metrics, and Protocols*, Project H-1. 2002. Soil &Water Conservation Society of Metro Halifax, Nova Scotia, A58.
22. Wright J.F., Furse M.T., Armitage P.D. RIVPACS – a technique for evaluating the biological quality of rivers in the UK. *European Water Pollution Control*. 1993. Vol. 3 (4). P. 15–25.
23. Leeds-Harrison P.B., Quinton J. N., Walker M. J. Harrison K. S., Tyrrel S. F., Morris J., Mills H. T. Buffer Zones in headwater catchments. Report on MAFF/English Nature Buffer Zone Project CSA 2285. Cranfield University, Silsoe, UK, 1996. 22 pp.

24. Alba-Tercedor J., Sánchez-Ortega A. Un metodo rapido u simple para evaluar la calidad bioljgica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell. *Limnetica*, 1988. Vol. 4. P. 51–56.
25. Tittizer T. Erlauterungen und Kommentare zu // Resolutions of Meeting of ISO/TC 147/SC 5/ WG 6/N 22. Bundesanstalt fur Gewasserkunde, 1981.
26. Dumnicka, E., Jelonek M., Klich M., Kwandrans J., Wojtal A. & Zurek R., 2006. Ichthyofauna i status ekologiczny wo«d Wisły, Raby, Dunajca i Wisłoki (Ichthyofauna and ecological status of Vistula, Raba, Dunajec and Wisłoka Rivers). Instytut Ochrony Przyrody PAN, Krakow (in Polish).
27. Gabriels W., Lock K., De Pauw N., Goethals P. L.M. Multimetric Macroinvertebrate Index Flanders (MMIF) for biological assessment of rivers and lakes in Flanders (Belgium). *Limnologia - Ecology and Management of Inland Waters*. 2010. Vol. 40, Iss. 3. P. 199–207. DOI:10.1016/j.limno.2009.10.001.
28. Горбунова Т.А. Разработка и апробация мультиметрического биотического индекса для оценки экологического состояния рек на территории Большого Сочи // Системы контроля окружающей среды. 2019. № 3 (37). С. 51–59. DOI: 10.33075/2220-5861-2019-3-51-59.
29. Горбунова Т.А. Использование биотических индексов ИМС и QИМС для оценки экологического состояния водотоков горного и предгорного кластера на примере рек на территории Большого Сочи // Инновации и инвестиции. 2019. № 2. С. 110–117.
30. Камра Е., Artemiadou V., Lazaridou-Dimitriadou M. Ecological quality of the River Axios (N. Greece) during spring and summer. *Belgian Journal of Zoology*. 2000. Vol. 130. P. 21–27.
31. Трофимчук М.М. Практическое применение энтропийного индекса для оценки экологического состояния водных экосистем. // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2024. № 2. С. 23–37. DOI: 10.35567/19994508-2024-2-23-37.
32. Богатов В.В., А.С. Федоровский, Т.В. Никулина. Роль гидрологических факторов в формировании видового разнообразия сообществ водорослей (на примере реки Комаровки, Приморский край, Россия) // Экология, 2013, № 6. С. 428–435.
33. Bogatov V.V., Nikulina T.V., Vshivkova T.S., Relationship between the Biodiversity of Phytoand Zoobenthos in the Continuum of the Model Mountain River Komarovka (Primorye, Russia). *Russian Journal of Ecology*. 2010. Vol. 41. No. 2. P. 167–172.

## REFERENCES

1. Bio/indication in the freshwater ecosystems' monitoring III: Mat-ly Mezhd. conf. pod red. V.A. Rummyantseva, I.S. Trigonovoy [*Proceedings of International Conference edited by V.A. Rummyantseva, I.S. Trigonovoy*]. St. Petersburg: Svoye izdatelstvo, 2017. 400 p.
2. XII Congress of RAS Hydro/biological Society: abstracts of the reports, Petrozavodsk, September 16 – September 20, 2019. Edited by N. V. Ilmast. Petrozavodsk: RAS Karelia Scientific Center, 2019. 575 p.
3. Pavluk T.I., Abraham bij de Vaate & Heather A. Leslie. Development of an Index of Trophic Completeness for benthic macroinvertebrate communities in flowing waters. *Hydrobiologia* Vol. 427. Kluwer Academic Publishers, 2000. P. 135–141.
4. Bij de Vaate A., Pavluk T. Practicability of the Index of Trophic Completeness for running waters. *Hydrobiologia*. Vol. 519. No. 1–3. Kluwer Academic Publisher, 2004. P. 49–60.
5. Bakanov A.I. A method of the hydro/biological data ranking in terms of ecological conditions in a water body. *Biologia vnutrennikh vod [Biology of inland waters]*. 1997. No. 1. P. 53–58.
6. Bakanov A.I. The use of combined indices for the freshwater water bodies monitoring in respect of zoo/benthos. *Vodniye resursy [Water resources]*. 1999. Vol. 26. No. 1. P. 108–111.
7. Bio/indication in freshwater ecosystems' monitoring: proceedings of International Conference, St. Petersburg, October 23–27, 2006. Edited by V.A. Rummyantsev, I.S. Trigonova. St. Petersburg: LEMA, 2007. 338 p.
8. Proceedings of II International conference “Bio/indication in the freshwater ecosystems' monitoring”. St. Petersburg, October 10–14, 2011. 224 p.
9. Semenchenko V.P. Principles and systems of the running waters bio/indication. Mn.: Orekh, 2004, 125 p.
10. Odum Y. Ecology: in 2 volumes. M.: Mir, 1986. Vol. 1. 328 p., Vol. 2. 376 p.
11. Alimov A.F. Elements of the theory of aquatic ecosystems' functioning. St. Petersburg: Nauka, 2000. – 147 p.

12. Pantle E. and Buck H. Die Biologische Überwachung der Gewässer und Die Darstellung der Ergebnisse. Gas- und Wasserfach, 1955. Vol. 96, No. 18. P. 1–604.
13. Zelinka M., Marvan P. Zur Präzisierung der biologischenklassifikation der Reinheit fließender Gewässer. Arch. Hydrobiol. 1961. Vol. 57. P. 389–407.
14. Sládeček, V. The ecological and physiological trends in the saprobiology. Hydrobiologia. 1967. Vol. 30. P. 513–526. DOI:10.1007/BF00964030.
15. Abakumov V.A., Poishchuk V.V. Comparison of the biological indication systems approved during the joint Soviet-British studies based at the Institute of Hydro/biology of Academy of Sciences of the Ukrainian Soviet Socialist Republic. Scientific foundations of the surface waters quality control by hydro/biological indicators. L.: Gidrometeoizdat, 1981. P. 81–117.
16. Woodiwiss F.S. The biological system of stream classification used by the Trent River Board. Chemistry and Industry. 1964. No. 14. P. 443–447.
17. Dzyuban N.A., Slobodchikov N.B. Indication of freshwater by macro/zoo/benthos. V-th Congress of the All-Union Hydro/biological Society. Part 2. Togliatti, 1986. P. 189–190.
18. Pavluk T.E. The use of the trophic structure of the bottom invertebrates' communities for assessment of the watercourses ecological status: abstract of the thesis for Candidate of Biological Sciences. Ekaterinburg, 1998. 204 p.
19. Goodnight C. Y., Whitley L. S. Oligochaeta as indicators of pollution. Proceedings o 15th International Waste Conference, 1961.Vol. 106.
20. Balushkina E.V. Chironomids as indicators of the water pollution degree: v kn. Metody biologicheskogo analiza presnykh vod [*Methods of freshwater biological analysis*]. L., 1976. P. 106–118.
21. Mandaville, S.M. Benthic Macro/invertebrates in Freshwater. Taxa Tolerance Values, Metrics, and Protocols, Project H-1. 2002. Soil &Water Conservation Society of Metro Halifax, Nova Scotia, A58.
22. Wright J.F., Furse M.T., Armitage P.D. RIVPACS – a technique for evaluating the biological quality of rivers in the UK. European Water Pollution Control. 1993. Vol. 3 (4). P. 15–25.
23. Leeds-Harrison P.B., Quinton J. N., Walker M. J. Harrison K. S., Tyrrel S. F., Morris J., Mills H. T. Buffer Zones in headwater catchments. Report on MAFF/English Nature Buffer Zone Project CSA 2285. Cranfield University, Silsoe, UK, 1996. 22 pp.
24. Alba-Tercedor J., Sánchez-Ortega A. Un metodo rapido u simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell. Limnetica, 1988. Vol. 4. P. 51–56.
25. Tittizer T. Erläuterungen und Kommentare zu. Resolutions of Meeting of ISO/TC 147/SC 5/WG 6/N 22. Bundesanstalt fur Gewasserkunde, 1981.
26. Dumnicka, E., Jelonek M., Klich M., Kwandrans J., Wojtal A. & Zurek R., 2006. Ichthyofauna i status ekologiczny wo«d Wisły,Raby, Dunajca i Wisłoki (Ichthyofauna and ecologicalstatus of Vistula, Raba, Dunajec and Wisłoka Rivers). Instytut Ochrony Przyrody PAN, Krako«w (in Polish).
27. Gabriels W., Lock K., De Pauw N., Goethals P. L.M. Multimetric Macroinvertebrate Index Flanders (MMIF) for biological assessment of rivers and lakes in Flanders (Belgium). Limnologica – Ecology and Management of Inland Waters. 2010. Vol. 40, Iss. 3. P. 199–207. DOI:10.1016/j.limno.2009.10.001.
28. Gorbunova T.L. Development and approval of the multi/metric biotic index for assessment of the rivers ecological state on the Greater Sochi territory. Sistemy kontrolya okruzhayushchey sredy [*Environment control systems*]. 2019. No. 3 (37). P. 51–59. DOI: 10.33075/2220-5861-2019-3-51-59.
29. Gorbunova T.L. The use of IMC and QIMC biotic indices for assessment of the mountain and piedmont clusters watercourses' ecological state with the rivers of the Greater Sochi territory as examples. Innovatsiyi i investitsiyi [*Innovations and investments*]. 2019. No. 2. P. 110–117.
30. Kampa E., Artemiadou V., Lazaridou-Dimitriadou M. Ecological quality of the River Axios (N. Greece) during spring and summer, Belgian Journal of Zoology. 2000.Vol. 130. P. 21–27.
31. Trofimchuk M.M. The entropy index practical application for assessment of aquatic ecosystems ecological status. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2024. No. 2. P. 23–37. DOI: 10.35567/19994508-2024-2-23-37.

32. Bogatov V.V., Fedorovskiy A.S., Nikulina T.V. The role of hydrological factors in formation of the algae communities' species diversity (the Komarovka River, Maritime Kray, Russia as a study case). *Ekologia [Ecology]*, 2013, No. 6. P. 428–435.
33. Bogatov V.V., Nikulina T.V., Vshivkova T.S., Relationship between the Biodiversity of Phytoand Zoobenthos in the Continuum of the Model Mountain River Komarovka (Primorye, Russia). *Russian Journal of Ecology*. 2010. Vol. 41. No. 2. P. 167–172.

**Сведения об авторе:**

**Павлюк Тимур Евгеньевич**, канд. биол. наук, зав. сектором гидробиологических исследований, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Уральский филиал, Россия, 620049, Екатеринбург, ул. Мира 23; ORCID 0000-0002-4615-9717; e-mail: T.Pavluk@mail.ru.

**About the author:**

Pavluk Timur Evgenievich, PhD in biology, head of Sector of Hydrobiological Research, RosNIIVH (Ural Affiliate), Russia, 620049, Yekaterinburg, Mira St. 23; ORCID 0000-0002-4615-9717; e-mail: T.Pavluk@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 16.08.2024. Дата выхода в свет 30.08.2024.

Формат 70x100<sup>1/16</sup>. Усл. печ. л. 8. 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

Станция 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 Екатеринбурге, Владивостоке, Чите, Перми, Уфе.

### АДРЕС УЧРЕДИТЕЛЯ ЖУРНАЛА:

Россия, 344037, г. Ростов-на-Дону, ул. Ченцова, здание 10а

Тел.: (863) 285-30-24

Сайт: <http://wrm.ru>, e-mail: [rwec@rwec.ru](mailto:rwec@rwec.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 И РЕДАКЦИИ:** 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 and Editorial Board:** 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

