

УДК 004.413.4, 006.015.7, 556.048  
<https://doi.org/10.32686/1812-5220-2022-19-6-86-98>

ISSN 1812-5220  
© Проблемы анализа риска, 2022

# Анализ рисков управления водохозяйственными системами в Российской Федерации<sup>1</sup>

**Болгов М. В.,**

Институт водных проблем  
РАН,  
119333, Россия, г. Москва,  
ул. Губкина, д. 3

## Аннотация

Управление водохозяйственным комплексом основывается на анализе большого числа процессов, развивающихся в системах, носящих техно-природный характер, с одной стороны, и в сложных социально-экономических системах, затрагивающих все общество в целом, с другой.

Методы управления, реализуемые на практике сегодня, основаны преимущественно на анализе функционирования отдельных частей (отдельных процессов) системы, представления о рассматриваемых процессах часто не согласуются, особенно если речь идет о технических и социальных системах.

Отдельно рассматриваются нормативно-правовые методы управления, включая техническое регулирование. Исследуются и прогнозируются самостоятельно социально-экономические процессы на разных уровнях временной и пространственной организации. При этом, конечно, учитываются нормативно-правовые знания, но могут выпадать или игнорироваться ресурсные ограничения, проявляется невосприимчивость социума к спускаемым «сверху» указаниям и рекомендациям, имеет место правовой нигилизм, возникает проблема квалификации лиц, принимающих решения, и т. д.

Определенные возможности анализа подобных ситуаций дают методы теории риска. Целью исследования является анализ рисков, возникающих на различных этапах обоснования водохозяйственных мероприятий, начиная с проектирования и заканчивая стратегиями развития отрасли в целом. В частности, рассматриваются традиционные методы инженерных расчетов, обеспечивающие заданный уровень надежности проектируемых объектов водохозяйственного строительства по отношению к опасным воздействиям (нагрузкам), которые основаны на концепции расчетных вероятностей.

Такой подход обеспечивает нормативный уровень надежности, но не гарантирует экономической оптимальности принимаемых решений, недостаточен для реализации социальных функций мероприятий и сооружений, сложен при анализе экологических проблем. Получение количественных оценок параметров сооружений и мероприятий, осуществляемое на основе вероятностных подходов, должно опираться как минимум на учет возможных последствий принимаемых решений, а также на оценки ущербов, выражаемые в виде соответствующих рисков.

**Ключевые слова:** гидрологические риски; нормы проектирования; катастрофические события; аварии; надежность; ущерб.

**Благодарности:** автор выражает признательность за полезные дискуссии по теме статьи зав. отделом РосНИИВХ д.г.н. С. Д. Беляеву, директору филиала РосНИИВХ к.г.н. А. В. Шаликовскому и заместителю начальника инспекции аудита водного, лесного хозяйства и технологической безопасности Департамента природопользования и АПК Счетной палаты Российской Федерации С. Н. Варламову.

**Для цитирования:** Болгов М. В. Анализ рисков управления водохозяйственными системами в Российской Федерации // Проблемы анализа риска. 2022. Т. 19. № 6. С. 86—98.  
<https://doi.org/10.32686/1812-5220-2022-19-6-86-98>

**Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.**

<sup>1</sup> Статья подготовлена на основе рекомендаций, полученных в ходе выполнения экспертно-аналитического мероприятия «Оценка достижения целей, задач и показателей, предусмотренных документами стратегического планирования, а также оценка результатов принятых мер по ликвидации дефицита водных ресурсов, обеспечению защищенности от негативного воздействия вод», организованного Счетной палатой РФ, а также в рамках Государственного задания ИВП РАН. Шифр темы: FMWZ-2022-0003; № государственной регистрации: 122041100259-3.

# Risk Analysis of Management of Water Systems in the Russian Federation<sup>2</sup>

**Mikhail V. Bolgov,**

Water Problems Institute  
Russian Academy of Sciences,  
Gubkina str., 3, Moscow,  
119333, Russia

**Abstract**

The management of the water management complex is based on the analysis of a large number of processes developing in systems that are techno-natural in nature, on the one hand, and in complex socio-economic systems affecting the whole society as a whole, on the other. The management methods implemented in practice today are based mainly on the analysis of the functioning of individual parts (individual processes) of the system, ideas about the processes under consideration are often not consistent, especially when it comes to technical and social systems. Regulatory management methods, including technical regulation, are considered separately. Socio-economic processes at different levels of temporal and spatial organization are investigated and predicted independently. At the same time, of course, regulatory legal knowledge is taken into account, but resource restrictions may fall out or be ignored, society is immune to instructions and recommendations lowered from above, legal nihilism takes place, the problem of qualification of decision-makers arises, etc.

Certain possibilities for analyzing such situations are provided by risk theory methods. The purpose of the article is to analyze the risks arising at various stages of justifying water management measures, from design to strategies for the development of the industry as a whole. In particular, traditional methods of engineering calculations are considered, which ensure a given level of reliability of the designed water construction facilities in relation to hazardous impacts (loads), which are based on the concept of design probabilities. This approach provides a normative level of reliability, but does not guarantee the economic optimality of decisions made, is insufficient to implement the social functions of measures and structures, and is difficult to analyze environmental problems. Obtaining quantitative estimates of the parameters of structures and measures, carried out on the basis of probabilistic approaches, should be based at least on taking into account the possible consequences of decisions taken, as well as on damage assessments expressed in the form of relevant risks.

**Keywords:** hydrological risks; design standards; catastrophic events; accidents; reliability; damages.

**Acknowledgments:** the author is grateful for the useful discussions on the topic of the article by the Head of the Department of RosNII VH Doctor of Geographical Sciences S.D. Belyaev, Director of the Branch of RosNII VH Candidate of Geographical Sciences A. V. Shalikovskiy and Deputy Head of the Inspection of Water, Forestry and Technological Safety of the Department of Nature Management and Agro-Industrial Complex of the Accounts Chamber of the Russian Federation S. N. Varlamov.

**For citation:** Bolgov M.V. Risk analysis of management of water systems in the Russian Federation // Issues of Risk Analysis. 2022;19(6):86-98, (In Russ.), <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2022-19-6-86-98>

**The author declare no conflict of interest.**

<sup>2</sup> The article was prepared on the basis of recommendations received during the implementation of the Expert and Analytical Event "Assessment of the Achievement of Goals, Objectives and Indicators Provided for by Strategic Planning Documents, as well as an assessment of the results of the measures taken to eliminate water resource shortages, ensure protection from the negative impact of waters", organized by the Accounts Chamber of the Russian Federation, as well as within the framework of the State Assignment of the IVP RAS. Topic code: FMWZ-2022-0003; state registration number: 122041100259-3.

## Содержание

Введение

1. Вероятностная парадигма оценки рисков в водохозяйственном комплексе
  2. О распределениях вероятностей характеристик максимального стока
  3. Климатические изменения и новые риски водохозяйственной деятельности
  4. Нормативно-правовое и методическое обеспечение управления рисками в результате негативного воздействия вод
  5. Риски стратегических управленческих решений в водной отрасли
- Заключение  
Литература

## Введение

Проблема повышения научно-технического уровня обоснования мероприятий в водохозяйственной отрасли РФ является актуальной задачей и рассматривается с разных точек зрения и на основе различных подходов. Одним из перспективных является подход, основанный на анализе рисков. Теория риска в настоящее время развита для многих технических задач, требующих учета различных по степени неопределенности факторов. Однако в большинстве случаев речь идет о показателях, связанных с надежностью проектируемых и эксплуатируемых сооружений и технологий, поддающихся моделированию. В задачах, связанных с анализом катастрофических событий, событий, требующих масштабных превентивных мероприятий, анализа многофакторных процессов, каковыми являются процессы стратегического управления, велика роль большой неопределенности прогнозов долгосрочного развития как по причине сложности исследуемых систем, включая саму систему государственного управления, так и ввиду больших случайных ошибок оценивания природных и антропогенных факторов.

Целью статьи является анализ нормативно-методических документов в области оценки рисков и ущербов, а также рекомендаций по снижению рисков недостижения целей планирования и управления в водной отрасли.

## 1. Вероятностная парадигма оценки рисков в водохозяйственном комплексе

Возникновение рисков вследствие проявления опасных гидрометеорологических процессов на объектах имущественного комплекса Российской Федерации связано как со случайной природой этих процессов, определяющей большую изменчивость характеристик воздействия на сооружения в период эксплуатации, так и с большими ошибками (неопределенностями) прогнозов, используемых в задачах оперативного управления.

Проблема случайности при оценке риска возникает в связи с тем, что вероятностные модели, используемые для описания нагрузок и воздействий при обосновании защитных мероприятий, характеризуются распределениями, которые не имеют верхнего предела (не ограничены сверху), и поэтому всегда возможно ожидать наступления большого, но редкого события, имеющего малую вероятность, меньшую, чем проектное нормативное значение, но, тем не менее, случающегося в природе.

В теории строительного проектирования для назначения размеров или характеристик сооружений используется так называемый полувероятностный подход [1, 2]. В соответствии с этим подходом проектируемое сооружение может перейти в предельное состояние (первое или второе, в зависимости от ремонтпригодности и степени сохранения своих функциональных свойств) при нагрузке заданной вероятности (расчетной обеспеченности). В качестве расчетных обеспеченностей принимается широкий диапазон значений, нормируемых в зависимости от класса ответственности сооружения. В инженерной гидрологии рассматриваются значения гидрологических характеристик с обеспеченностью от 0,01% с гарантированной поправкой, используемые для поверочных случаев особо ответственных сооружений, и до 99,9%, что применяется, например, при расчетах водоснабжения ответственных потребителей [3].

В любом случае эта обеспеченность не равна нулю (или единице), и теоретически всегда остается некоторая, достаточно малая вероятность, при которой может происходить т. н. запроектный случай

или авария, сопровождающаяся разрушением сооружения или потерей его функциональных свойств. Или, в других терминах, возникает риск, понимаемый в этом случае как вероятность нарушения нормальных условий работы объекта проектирования.

Все расчетные характеристики, определяемые на основе вероятностных моделей, характеризуются доверительным интервалом, поскольку и объем, и качество данных, используемых при их определении, всегда ограничены, а применяемые вероятностные модели (функции распределения) не полностью адекватны исследуемому процессу [4]. Располагая расчетными обеспеченностями и сведениями о выборочных погрешностях характеристик, используемых при проектировании сооружений, можно дать оценку вероятности развития катастрофического события. В данном контексте под риском и понимается такая вероятность. В качестве примера можно привести нормативный документ организации НП «ИНВЭЛ» [5] или упомянутый выше свод правил СП 58.13330.2012. Рассмотрим таблицу из этого документа с соответствующими вероятностями возникновения аварий для одного из типов гидротехнических сооружений.

**Таблица. Допускаемые значения вероятностей возникновения аварий на напорных гидротехнических сооружениях [3]**

*Table. Allowable values of probability of occurrence of accidents at pressure hydraulic structures [3]*

Класс сооружения	Уровень риска аварии, 1/год
I	$5 \times 10^{-5}$
II	$5 \times 10^{-4}$
III	$2,5 \times 10^{-3}$
IV	$5 \times 10^{-3}$

Из данной таблицы следует вывод о том, что оцениваемые из теоретических предположений риски характеризуются соответствующими вероятностями аварий, которые примерно на порядок ниже (меньше) соответствующих данному классу расчетных обеспеченностей.

Основная сложность исследования вопросов надежности сооружений связана с отсутствием

в открытом доступе полноценной статистики катастрофических событий. Данные, приведенные в таблице, получены исходя из предположений о вероятностях возможного превышения проектных значений в ходе эксплуатации сооружения. Работ, обобщающих статистику катастроф с детальным анализом причин разрушения сооружений, очень мало. Одной из важных публикаций в этой области является монография Л. Г. Бегама и В. Ш. Цыпина [6]. Авторы этой монографии обобщили большое количество данных о разрушениях мостовых переходов и представили результаты в виде статистики значений  $z = Q_{\text{набл.}} / Q_{\text{расч.}}$ , где  $Q_{\text{набл.}}$  — наблюдаемый расход, вызвавший аварию на сооружении (мостовом переходе), а  $Q_{\text{расч.}}$  — расчетный максимальный расход воды, принятый в проекте. Распределение  $z$  в виде графика ранжированной последовательности  $z$  по числу исследованных случаев (аналог кривой обеспеченности) позволило выделить три диапазона:  $z < 1,5$ ;  $z = 1,5 - 2,5$ ;  $z > 2,5$ . Сопоставление значений  $z$  с тяжестью последствий позволило авторам сделать вывод, что при коэффициенте  $z$  до 1,5 практически сохраняются условия нормальной работы сооружений. При  $z$  от 1,5 до 2,5 около 60% случаев характеризуются эксплуатацией с затруднениями, а в 40% случаев сооружения разрушаются. При превышении наблюдаемого расхода над расчетным в 2,5 раза разрушаются практически все сооружения. Там же [6] сделана попытка дать гидролого-географическую интерпретацию значениям  $z$  — увязать их с коэффициентами вариации максимального стока, которые поддаются районированию. Результаты Бегама и Цыпина иллюстрируют тот факт, что прямой расчет надежности сооружений при работе в реальных условиях представляет собой очень сложную задачу. В процессе изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации сооружений, испытывающих опасные воздействия от водной среды, и осуществляемом в соответствии с нормативными требованиями, в итоговые параметры сооружений (проектные решения) вносятся существенные и разнообразные запасы, суммарный эффект которых оценить на стадии проектирования, даже при использовании полного вероятностного метода, очень сложно.

## 2. О распределениях вероятностей характеристик максимального стока

Рассмотренные примеры показывают, что весьма актуальной является задача построения адекватной стохастической модели опасного природного процесса (или создаваемой им нагрузки). Необходимо отметить, что при обосновании стохастической модели опасного процесса в инженерной гидрологии специалисты придерживаются консервативных позиций, что заключается в сохранении, при переработке нормативных документов, в основном ранее принятых подходов и в осторожном отношении к новым моделям. Данные мониторинга (существующие временные ряды наблюдений) экстремальных событий ограничены по времени, как правило, несколькими десятками событий (лет), что и обуславливает консервативность, в хорошем смысле этого термина, вероятностных решений.

Начиная с 50-х гг. прошлого века для выполнения основных видов инженерно-гидрологических расчетов в РФ рекомендуется т. н. трехпараметрическое гамма-распределение, предложенное С. Н. Крицким и М. Ф. Менкелем. В течение последующих десятилетий это распределение исследовалось на предмет выборочных свойств параметров и развития методов их определения, обеспечивающих допустимую погрешность. В настоящее время, по прошествии более чем семидесяти лет, модель Крицкого — Менкеля является основной в инженерной гидрологии, что отражено в нормативном документе, регламентирующем технологии вычисления расчетных гидрологических характеристик [4].

Попытки усовершенствовать эту вероятностную модель или предложить новое распределение вероятностей в отечественной гидрологии особых успехов не имели, что связано, как уже отмечалось, в основном с ограниченностью данных наблюдений. Но, тем не менее, в связи с проявлением катастрофических событий в последние десятилетия, такие попытки осуществляются, а также исследовалась возможность использования в РФ вероятностных моделей, применяемых в зарубежной практике. В целом в литературе делается вывод, что применяемые для описания опасных явлений и в отечественной, и в зарубежной практике трехпараметрические распределения вероятностей весьма близки по сво-

им свойствам. Например, в инженерной практике США используются модификации распределения Пирсона, что при определении расчетных значений дает результаты, весьма близкие к трехпараметрическому гамма-распределению Крицкого — Менкеля. Надо сказать, что и расчетные обеспеченности, применяемые в практике инженерных расчетов США, близки к российским нормам, хотя можно отметить, что для особо ответственных сооружений за рубежом применяются другие подходы, использующие предельно возможные значения гидрометеорологических параметров. В российской гидротехнической практике методы, основанные на предельных значениях стока, большого распространения не получили [7, 8].

Тем не менее в инженерной гидрологии, в том числе и в связи с необходимостью оценки рисков, появляются новые задачи, требующие развития стохастических моделей. Наличие в рядах наблюдений катастрофических событий, или, как их называют в гидрологии, «отскакивающих» точек, позволило некоторым авторам рекомендовать распределение вероятностей с т. н. тяжелым хвостом [9, 10]. В этой модели вероятность появления редких и сильных событий заметно больше, чем при использовании трехпараметрического распределения Крицкого — Менкеля, и ее использование ведет к увеличению расчетных характеристик наводнений. Принятые в этой работе решения, достаточно осторожные, показали, что для некоторых регионов РФ, там, где случаются сильные наводнения, такая «тяжелохвостовая» модель может быть применена с некоторыми оговорками, но при этом возникают и дополнительные проблемы с оценкой параметров.

## 3. Климатические изменения и новые риски водохозяйственной деятельности

Необходимость разработки в инженерной гидрологии и в строительном проектировании новых вероятностных подходов и моделей вызвана также и происходящими климатическими изменениями, в результате которых существенно меняется характер колебаний экстремальных гидрологических характеристик, режим стока становится нестационарным. Это уже новая задача для инженерной гидрологии, которая ранее ни в одном из действовавших

и действующих на сегодняшний день нормативных документов в области инженерной гидрологии не рассматривалась.

Правительство РФ обращает внимание соответствующих органов исполнительной власти на необходимость разработки адаптационных мероприятий для снижения (смягчения) последствий для экономики страны [11]. Основная, сложно решаемая инженерная задача (и соответствующая проблема) в этом случае связана с необходимостью учитывать в строительном проектировании возможные (прогнозируемые) изменения климата и их последствия. Климатология и гидрология не обладают сегодня методами надежного прогнозирования водного режима по причине большой погрешности результатов моделирования глобальных систем, неприемлемой в инженерных расчетах, поэтому на практике применяются стохастические модели, учитывающие только те изменения, которые уже произошли и зафиксированы на наблюдательной сети. Основная задача при этом — как пролонгировать на будущее выявленные сегодня изменения. Для учета происходящих изменений при обосновании проектных решений применяется несколько вероятностных подходов, среди которых наиболее общим является байесовский, позволяющий учитывать возможные источники неопределенностей оценивания параметров и прогнозирования [12, 13].

Механизм воздействия климатических изменений на расчетные гидрологические характеристики связан с нарушениями режима сезонных колебаний стока рек в результате потепления климата. С одной стороны, изменения сезонных колебаний могут способствовать облегчению решения водохозяйственных задач, так как обеспечивают естественное выравнивание хода стока: уменьшается сток весеннего половодья и увеличивается сток зимней и летней межени. При регулировании стока за счет таких изменений возникает некоторый дополнительный резерв. Но при этом усложняется задача прогнозирования стока (притока к водохранилищам), поскольку возникает новый гидрологический режим, для которого еще не разработаны методики оперативного прогноза.

Новые методы прогнозирования речного стока в связи с изменениями климата сегодня не разрабатываются, а старые в новых природно-климати-

ческих условиях работают плохо. Это становится одной из основных проблем оперативной гидрологии — создание методов нового поколения, учитывающих произошедшие изменения условий формирования стока рек. Особого прогресса в этой области научных исследований пока не отмечено.

Из актуальных проблем последних десятилетий, связанных с опасным воздействием вод и значительными рисками, надо отметить плохо предсказуемые колебания уровней озер и внутренних морей, к числу которых относятся Каспийское море, озера Ханка, Чаны, Торейские озера, озеро Байкал и ряд других. Опасными являются как резкие повышения уровня воды, приводящие к разрушениям объектов береговой инфраструктуры, жилищно-коммунального хозяйства, транспортной сети, сельскохозяйственных угодий, так и резкое снижение, затрудняющее судоходство, естественное воспроизводство водных биоресурсов, функционирование водозаборов и пр.

Вероятностное прогнозирование уровней внутренних водоемов (озер и морей) сегодня в РФ не регламентировано ни в одном нормативном документе в области инженерной гидрологии, несмотря на то, что подъем уровня Каспийского моря, наблюдавшийся в 90-е годы, привел к огромному материальному ущербу. Для решения задачи вероятностного прогнозирования уровня внутренних водоемов необходимы более сложные вероятностные модели, использующие методы из теории случайных процессов. Такие модели различного уровня сложности развивались в последние десятилетия с переменным успехом, но по той же причине ограниченности данных наблюдений в инженерной и водохозяйственной практике использовались простейшие схемы, а именно применялись варианты схемы цепей Маркова. Простейшие — не означает простые, потребовалось развитие класса марковских моделей, учитывающих специфические функции распределения, применяемые в гидрологии. Тем не менее, в связи с происходящими климатическими изменениями возможностей этих моделей становится недостаточно, и они должны быть усложнены.

Изучение статистики стихийных бедствий на всем Земном шаре указывает на сложный характер изменения этого показателя во времени

[14]. Действительно, и в мире, и на территории РФ в частности, отмечается снижение стихийных бедствий в последнее десятилетие (2010—2019 гг.), но это происходит на фоне существенно большего числа катастроф по сравнению, например, с концом прошлого века. При этом за последние 30 лет отмечается существенное снижение числа погибших, но продолжает увеличиваться общий ущерб по всем видам бедствий, который за анализируемый период составил 3,6 трлн долл. США. Оценка общего числа чрезвычайных происшествий на территории Российской Федерации указывает на небольшой рост числа чрезвычайных ситуаций, фиксируемых за последние 10 лет. По крайней мере, из анализа имеющихся материалов можно сделать вывод, что их число не снижается.

Еще более сложная проблема — анализ ущерба, возникающего при ЧС, связанных с негативным воздействием вод. Наибольший ущерб возникает в периоды прохождения катастрофических гидрометеорологических событий. Причем эти выдающиеся события, не фиксирувавшиеся ранее в период инструментальных наблюдений, имеют очень малую вероятность и поэтому весьма опасны: население и органы управления не готовы к такому развитию экстремального явления, не воспринимают риски такого рода угроз. К числу таких событий можно отнести выдающееся наводнение на р. Амур в 2013 г. и дождевой паводок на р. Ия в 2019 г., приведший к затоплению значительной части г. Тулуна.

Подводя итог проблемам вероятностного (стохастического) моделирования гидрологических процессов при решении задач оценки рисков, возникающих при опасных гидрометеорологических явлениях, необходимо в первую очередь отметить недостатки существующей нормативно-правовой базы. В последние десятилетия практически прекратились территориальные обобщения данных мониторинговых наблюдений, в результате чего на практике используются устаревшие методы и параметры расчетных схем, что неприемлемо. Надежность ответственных сооружений требует развития и адаптации к условиям РФ новых методов гидрологического расчета, в частности, использование оценок предельных значений стока, позволяющих снизить риски возникновения катастрофических

ситуаций, по крайней мере для особо ответственных сооружений, разрушение которых чревато огромным ущербом.

Возникающие новые проблемы, как, например, учет климатических изменений при определении расчетных характеристик, требуют развития и новых методов, и новых редакций нормативных документов, актуализирующих существующие подходы и заполняющих существующие пробелы в техническом регулировании исследуемой отрасли знаний.

#### **4. Нормативно-правовое и методическое обеспечение управления рисками в результате негативного воздействия вод**

Распространенное толкование понятия риска связано с оценкой вероятного ущерба при развитии опасных и катастрофических природных явлений. В предыдущих разделах обсуждались вероятности образования «запроектных» событий исходя из существующих стохастических представлений о гидрологических явлениях. Эти вероятности лежат в основе «надежностных» расчетов и в целом могут быть положены в основу расчетов величин ущерба, а точнее, их математического ожидания. Для расчетов подобного рода необходима методика, которая позволит вычислить математическое ожидание ущерба, приписывая рассчитываемым величинам ущерба вероятности, соответствующие уровням затопления. Получаемое математическое ожидание ущерба трактуется далее при таком подходе как риск.

Необходимо иметь в виду, что катастрофическое развитие ситуации возможно и не только в результате возникновения «запроектной» ситуации по причине экстремального характера природного явления. В процессе проектирования, строительства и эксплуатации сооружений возможны многочисленные ошибки и отклонения от проектных решений, от нормативных значений, возможны строительный брак и усиление действия факторов, не учитываемых по ряду причин в обычных условиях.

Исходя из практического опыта проектирования и эксплуатации сооружений, а также анализа существующей научно-методической базы, можно сформулировать основные причины возникнове-

ния значительных негативных последствий при наводнениях:

1. При прогнозировании чрезвычайных ситуаций, возникающих вследствие наводнений, недостаточно учитывается аномальный характер выдающихся гидрометеорологических явлений, в том числе и по причине антропогенных воздействий на водосбор и русло реки, а также климатических изменений. В долгосрочной и среднесрочной перспективе сохраняется неопределенность прогноза климатических изменений и их последствий для элементов гидрологического цикла, включая экстремальные характеристики.

2. Ошибки инженерно-гидрологических изысканий, инженерных расчетов и проектирования, возникающие по причине недостаточности средств, ограниченности данных гидрологического и метеорологического мониторинга, отсутствия требуемой квалификации специалистов для профессиональной интерпретации результатов мониторинга и выполнения вероятностных расчетов.

3. Плохое качество строительных работ и в ряде случаев непредсказуемое негативное влияние временных конструкций при возведении основных инженерных сооружений (напорного фронта), а также при создании вспомогательных структур (систем инженерной защиты и т. п.).

4. Несанкционированные (или нерегламентированные) режимы оперативного управления при эксплуатации гидротехнических сооружений, в том числе и по причине нарушения условий землепользования в нижних бьефах, таких как несанкционированная застройка затопляемых территорий. Отсутствие (недостаточность) необходимых ремонтных работ на объектах.

5. Недостаточная информированность населения о возможных последствиях опасного воздействия вод в целом и при прохождении конкретного опасного паводка в частности.

6. Недостаточность в ряде случаев сил и средств системы ГО и ЧС при экстремальных паводках для организации своевременного реагирования на чрезвычайные ситуации, вызванные гидрологическими опасными процессами.

Рассмотренный перечень факторов и причин ущерба при наводнениях показывает, что в практику управления системами предупреждения чрезвычайных ситуаций необходимо внедрять риск-ориентированный подход. Для решения этой задачи

следует развивать научную и нормативно-правовую базу риск-ориентированного подхода (законодательное закрепление допустимого риска) в системе управления рисками чрезвычайных ситуаций с учетом комплексного решения вопросов мониторинга, прогнозирования и предупреждения ЧС, своевременного выявления угроз и реагирования на опасности. Рассмотрим основные проблемы в этой области.

Важнейшим моментом управления рисками является определение допустимых рисков. В Российской Федерации, как и в ряде других стран [15, 16], показателем защиты населения от опасностей являются величины индивидуального и социального риска. Численные значения индивидуального риска для субъектов РФ определяются отношением числа погибших при реализации опасностей к численности населения субъектов. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 июня 2016 г. № 274 утвержден и введен в действие Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 22.10.02-2016 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Допустимый риск чрезвычайной ситуации» [15]. Данным стандартом определен для РФ допустимый риск ЧС природного, техногенного и биолого-социального характера.

Оценки допустимого индивидуального риска имеют в целом характер дилеммы «стоимость — выгода». Однако при нормировании на национальном уровне исходят из достаточно волюнтаристских соображений о том, какой риск приемлем в обществе. Так, если статистика говорит, что на территории государства вероятность погибнуть в экстремальной ситуации составляет для индивида  $10^{-4}$  в год, то приемлемый уровень будет составлять примерно 1% от данного числа. Таким образом, индивидуальный риск для события оценивается как [16]

$$P_{fi} P_{d|fi} < 10^{-6}, \quad (1)$$

где  $P_{fi}$  — вероятность наступления катастрофического события с точки зрения индивида,  $P_{d|fi}$  — вероятность для индивидуума погибнуть при наступлении этого события.

Оценка социального риска исходит из задаваемой функции распределения  $F_N$  числа погибших от данного вида катастрофы  $i$  для заданной социальной группы  $j$ :

$$1 - F_{N_{dij}}(x) < \frac{10^{-2}}{x^2} \text{ для } x \geq 10 \text{ смертей.} \quad (2)$$

Если допустимое число смертей равно 10, то приемлемый социальный риск равен  $10^{-5}$ . Эта же цифра фигурирует и в российских нормативных документах [17].

Для оценки вероятности катастрофического события с точки зрения персонального приемлемого риска используется обобщенная формула (1)

$$P_{fi} = \frac{\beta_i 10^{-4}}{P_{d/f}}, \quad (3)$$

где  $\beta$  изменяется от 10 до 0,01 в зависимости от степени волюнтаризма и выгоды в оценке допустимого риска.

Задача оценки и управления социальными рисками состоит в рекомендациях относительно параметра  $\beta$  для различных типов ситуаций. Существующие оценки и предположения (формулы (1–3)) получены исходя из имеющейся статистики ущерба в западных странах и должны быть обобщены и скорректированы на российские условия с учетом актуализированных сведений об ущербе (потерях) в современных социально-экономических условиях.

В задаче управления такого рода рисками (катастрофического характера) основная роль принадлежит МЧС России, являющемуся федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим деятельность в области снижения риска ЧС, в т. ч. негативного воздействия вод. Эта деятельность МЧС реализуется в виде законодательных актов, нормативных документов и рекомендаций [17, 18]. При этом основной методологической проблемой является типизация (или классификация) причин и сценариев, связанных с опасными и катастрофическими гидрологическими явлениями. Задача прогноза и оценки риска ЧС (прогноз источника ЧС и прогноз последствий ЧС) в результате прохождения паводков может включать оценку негативного воздействия вод при реализации сценариев трех типов [19]:

1) сценарий катастрофического события или неуправляемого риска;

2) наиболее вероятный сценарий, т. е. событие приемлемого риска;

3) оптимальный сценарий, сопровождаемый реализацией необходимых превентивных мер и оперативных действий.

В качестве сценария катастрофического события принимается экстремальное, весьма редкое гидрологическое событие малой вероятности, например, исторический экстремум максимального расхода воды. В некоторых случаях в практике проектирования гидротехнических сооружений говорят о «запроектном» режиме функционирования технической системы (застроенной территории и пр.), что также можно отнести к ситуациям со слабо предсказуемыми последствиями.

В качестве события вероятного сценария (или события приемлемого риска) рассматривается ситуация, соответствующая нормативному уровню безопасности, т. е. сценарий возникновения наводнения 1% обеспеченности, на который проектируется генеральный план города (наводнение, вероятность возникновения которого рассматривается 1 раз в 100 лет). Для гидротехнических систем — это надежность строительных конструкций или технологических процессов, которая задается строительными нормами для каждого класса гидротехнических объектов. Диапазон уровней безопасности весьма широк и изменяется от 1 события в 10 000 лет до 1 раза в 10–20 лет [20, 21].

Оптимальный сценарий рассматривается при принятии дополнительных мер инженерной защиты, проведения превентивных мероприятий, связанных с отселением населения из зон, подверженных наводнениям, основанных на результатах прогнозирования или анализа развития опасной ситуации, борьбы с заторами, прочисткой и расширением русел рек и т. д. Оптимальный сценарий вырабатывается на основе принятия рациональных мер, когда известны оценки предотвращенного ущерба и оценки затраченных средств на организацию противопаводковых мероприятий, организационно-технических работ и т. д. Экономическая эффективность мероприятий является одним из основных критериев при выработке мер, формирующих оптимальный сценарий.

Перечисленные факторы имеют непосредственное отношение к функционированию водохозяйст-

венного комплекса, но в сфере нормативно-правового регулирования надо отметить две задачи, относящиеся к проблеме государственного управления рисками:

а) территориальное планирование, градостроительное зонирование, ведение природного и технического надзора, развитие системы технического регулирования (системы нормативных документов) и прочие работы кадастрового характера, предусмотренные Постановлением Правительства РФ от 18 апреля 2014 г. № 360 [22];

б) усиление контроля за недопущением строительства в зонах, подверженных паводкам, затоплениям, внедрение программ обязательного страхования жизни и имущества населения, проживающего в зонах, подверженных угрозе наводнений, с учетом результатов оценки риска негативных последствий.

В завершение раздела в качестве нерешенной проблемы надо отметить отсутствие надежных оценок ущерба в результате негативного воздействия вод. Без таких оценок невозможно получать оценки рисков и формулировать рекомендации по их смягчению.

## 5. Риски стратегических управленческих решений в водной отрасли

Риски стратегического управления возникают по причине возможной реализации комплекса неопределенностей во всех сферах деятельности, затрагиваемых при реализации управленческих решений. Речь идет о рисках, возникающих по причине возможного, но непредсказуемого на момент принятия решения изменения государственной политики в рассматриваемой области, выражающегося, например, в принятии законодательных актов и правительственных решений, существенно изменяющих нормативно-правовое поле, резких и слабо предсказуемых изменений природной среды, связанных с глобальными климатическими изменениями, изменений на финансовых рынках, выражающихся в сокращении бюджетных поступлений, и, соответственно, приводящих к ограничениям финансирования государственных программ, военных конфликтов и геополитических событий, влияющих на развитие экономики, а также крупных стихийных бедствий, отвлекающих значительные финан-

совые и материальные ресурсы на восстановление экономики.

Требования по оценке рисков сформулированы в Законе о стратегическом планировании в РФ от 2014 г. [23]. Вслед за основной процедурой стратегического планирования — формированием целей стратегического развития — в законе сформулирована задача оценки рисков достижения этих целей, прогноза различных вариантов развития.

Исходя из рассмотренных причин и последствий, принимаемых на разных уровнях государственного управления решений, управление рисками можно определить как систему мероприятий, направленных на анализ событий непредсказуемого характера, но предварительный вывод может быть таким: сформулировать риски, возникающие при стратегическом планировании на значительный отрезок времени, на основе количественных вероятностных оценок сегодня не представляется возможным.

Выше было отмечено, что особый практический интерес представляет приемлемый риск, относительно которого можно предположить, что «...для достижения выбранной стратегической цели всегда можно найти решение, обеспечивающее некоторый компромиссный уровень риска..., который соответствует определенному балансу между ожидаемой выгодой и угрозой потерь» [24]. Однако случаи получения оценки такого рода рисков крайне редки даже в конкретных проектах предотвращения негативного воздействия вод, а в задаче стратегического планирования можно говорить только о самых общих гипотезах и предположениях. В силу слабой предсказуемости развития анализируемых процессов важным этапом разработки стратегии должны быть сценарии вероятного отклонения ситуации от планируемого уровня.

Продолжая тему стратегических рисков в водной отрасли, обратимся к такому документу управления водохозяйственным комплексом, как Водная стратегия РФ до 2020 г. [25]. Реализация Водной стратегии позволила снизить антропогенное воздействие на водные объекты, повысить защиту от негативного воздействия вод, улучшить организационное и нормативно-правовое обеспечение деятельности по управлению водными ресурсами и водопользованием.

Надо отметить, что не все целевые показатели Водной стратегии были достигнуты. Недостижение целевых показателей, которые однозначно связаны с конечными результатами водохозяйственной деятельности на этапе реализации Водной стратегии, произошло по причине отсутствия финансовых ресурсов в необходимых объемах. Эти проблемы послужили поводом к изменению целевых показателей, в то время как задача переноса сроков реализации мероприятий не ставилась. На этапе разработки планов реализации Водной стратегии подобного рода риски не были предусмотрены, что позволило Счетной палате РФ сделать вывод о недостаточной проработке вопросов, связанных с рисками достижения стратегических целей [26].

## Заключение

Анализ рисков водохозяйственной деятельности в целом и рисков недостижения целей стратегического управления в отрасли выявил наличие методологических проблем в этой области.

Существенным элементом задачи оценки эффективности осуществления водохозяйственных мероприятий является разработка рекомендаций по анализу соответствующих рисков на основе современных представлений в области стохастического моделирования гидрометеорологических процессов и явлений (экстремальные события, сезонные и многолетние колебания), вероятностных методов смежных научных отраслей и в целом подходов к управлению на основе знаний о возможных рисках.

В работе рассмотрены возможные риски, начиная с рисков экстремальных гидрометеорологических событий и связанных с ними катастрофических сценариев, и риски недостижения целей в процессе реализации Водной стратегии и других документов государственного управления в водной отрасли.

Важный вывод исследования заключается в необходимости дальнейшего развития методической базы планирования и управления водохозяйственной отрасли на основе анализа риска, что в свою очередь требует совершенствования методической базы расчетов ущерба от негативного воздействия вод.

## Литература [References]

1. ГОСТ Р 54257-2010 Российской Федерации «Надежность строительных конструкций и оснований». Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 23 декабря 2010 г. № 1059-ст 4 (в настоящее время отменен). [GOST R 54257-2010 of the Russian Federation “Reliability of Building Structures and Foundations”. Approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated December 23, 2010 No. 1059-st 4 (currently canceled), (In Russ.)]
2. Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Принят Государственной Думой 23 декабря 2009 г., одобрен Советом Федерации 25 декабря 2009 г. [Federal Law “Technical Regulations on Safety of Buildings and Structures”. Adopted by the State Duma on December 23, 2009, approved by the Federation Council on December 25, 2009, (In Russ.)]
3. СП 58.13330.2012 Свод правил «Гидротехнические сооружения. Основные положения» Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003. Дата введения 2013-01-01. [SP 58.13330.2012 Code of Practice «Hydraulic Structures. Main provisions of». Updated edition of SNiP 33-01-2003. Date of introduction 2013-01-01, (In Russ.)]
4. СП 33-101-2003 Определение основных гидрологических характеристик (взамен СНиП 2.01.14-83), Москва, Госстрой РФ. 2004. [SP 33-101-2003 Determination of basic hydrological characteristics (instead of SNiP 2.01.14-83), Moscow. Gosstroy of the Russian Federation. 2004, (In Russ.)]
5. СТО 70238424.27.140.026-2009. Гидроэлектростанции. Оценка и прогнозирование рисков возникновения аварий гидротехнических сооружений. Нормы и требования. Стандарт организации «ИНВЭЛ». Москва, 2009. 50 с. [STO 70238424.27.140.026-2009. Hydroelectric power plants. Assessment and forecasting of risks of accidents of hydraulic structures. Regulations and requirements. INVEL organization standard. Moscow, 2009. 50 p., (In Russ.)]
6. Бегам Л.Г., Цыпин В.Ш. Надежность мостовых переходов через водотоки. М., Транспорт. 1984. 254 с. [Begam L.G., Tsypin V.S. Reliability of bridge crossings. M., ed. Transport. 1984. 254 p., (In Russ.)]
7. Болгов М.В., Коробкина Е.А., Филиппова И.А., Осипова Н.В. Об учете оценок предельных значений стока при построении функции распределения максималь-

- ных расходов воды // Гидротехническое строительство. 2019. № 1. С. 23—28. [Bolgov M. V., Korobkina E. A., Filippova I. A., Osipova N. V. Distribution function of maximum discharge: accounting for probable maximum flood // *Gidrotehnicheskoe Stroitel'stvo*. 2019;(1):23-28, (In Russ.)]
8. Асарин А. Е., Жиркевич А. Н. О необходимости разработки методики расчета вероятного максимального паводка (pmf) для инженерно-гидрологических расчетов в России // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2012. № 4. С. 53—63. [Asarin A. Y., Zhirkevich A. N. On the necessity of development of the probable maximal flood (pmf) computation method for engineering/hydrological calculations in Russian // *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2012;(4):53-63, (In Russ.)]
  9. Болгов М. В., Писаренко В. Ф. О распределении максимальных расходов воды рек Приморья // Водные ресурсы. 1999. Т. 26. № 6. С. 710—721. [Bolgov M. V., Pisarenko V. F. The distribution of peak runoff values in maritime territory rivers // *Vodnye Resursy*. 1999;26(6):710-721, (In Russ.)]
  10. Болгов М. В., Сарманов И. О. Усеченное трехпараметрическое гамма-распределение С. Н. Крицкого и М. Ф. Менкеля и некоторые его приложения к гидрологическим расчетам // Водные ресурсы. 1988. Т. 15. № 2. С. 24—29. [Bolgov M. V., Sarmanov I. O. Truncated three-parameter gamma distribution of S. N. Kritsky and M. F. Menkel and some of its applications to hydrological calculation // *Vodnye Resursy*. 1988;15(2):24-29, (In Russ.)]
  11. Национальный план мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 года. Утвержден распоряжением Правительства Российской Федерации от 25 декабря 2019 г. № 3183-р. [National Action Plan for the first stage of adaptation to climate change for the period up to 2022. Approved by order of the Government of the Russian Federation of December 25, 2019 No. 3183-p, (In Russ.)]
  12. Болгов М. В., Коробкина Е. А., Филиппова И. А. Байесовский прогноз минимального стока в нестационарных условиях с учетом возможных изменений климата // *Метеорология и гидрология*. 2016. № 7. С. 72—81. [Bolgov M. V., Korobkina E. A., Filippova I. A. Bayesian prediction of minimum river runoff under non-stationary conditions of future climate change // *Meteorologiya i Gidrologiya*. 2016;(7):72-81, (In Russ.)]
  13. Болгов М. В. Байесовская оценка точки изменения в последовательностях коррелированных случайных величин гидрометеорологических характеристик // *Метеорология и гидрология*. 2021. № 10. С. 27—35, <https://doi.org/10.52002/0130-2906-2021-10-27-35> [Bolgov M. V. Bayesian evaluation of the change point in the sequences of correlated random variables of hydrometeorological characteristics // *Meteorologiya i Gidrologiya*. 2021;(10):27-35, (In Russ.), <https://doi.org/10.52002/0130-2906-2021-10-27-35>]
  14. Доклад ВМО «Атлас смертности и экономических потерь в результате экстремальных метеорологических, климатических и гидрологических явлений (1970—2019)». ВМО № 1267. Всемирная метеорологическая организация. 2021. [WMO report “Atlas of Mortality and Economic Losses from Extreme Meteorological, Climatic and Hydrological Events (1970—2019)”. WMO No. 1267. World Meteorological Organization. 2021, (In Russ.)]
  15. Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 22.10.02-2016 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Допустимый риск чрезвычайной ситуации». Утвержден Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 июня 2016 г. № 274. [National Standard of the Russian Federation GOST R 22.10.02-2016 “Safety in emergencies. Emergency risk management. Acceptable risk of an emergency situations”. Approved by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated June 29, 2016 No. 274, (In Russ.)]
  16. Vrijling J. K., van Hengel W., Houben R. J. A framework for risk evaluation // *Journal of Hazardous Materials*. 43(1995):245-261, [https://doi.org/10.1016/0304-3894\(95\)91197-V](https://doi.org/10.1016/0304-3894(95)91197-V)
  17. ГОСТ Р 22.1.02-95 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование. Термины и определения». [GOST R 22.1.02-95 “Safety in emergencies. Monitoring and forecasting. Terms and definitions”, (In Russ.)]
  18. Управление рисками техногенных катастроф и стихийных бедствий (для руководителей организаций). Под общей редакцией Фалеева М. И. / РНОАР. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). 2016. 286 с. [Management of risks of man-made disasters and natural disasters (for heads of organizations). Under the general editorship of M. I. Faleev / RNAAR. M.: FSBI VNII GOCHS (FC). 2016. 286 p., (In Russ.)]

19. Фалеев М.И., Олтян И.Ю., Арефьева Е.В., Болгов М.В. Методология и технология дистанционной оценки риска // Проблемы анализа риска. 2018. Т. 15. № 4. С. 6—19. [Faleev M. I., Oltyan I. Yu., Arefieva E. V., Bolgov M. V. A methodology and technology for risk assessment based on open data // Issues of Risk Analysis. 2018;15(4):6-19, (In Russ.)]
20. Свод правил СП 104.13330.2016 «Инженерная защита территории от затопления и подтопления». Актуализированная редакция СНиП 2.06.15-85. Утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 16 декабря 2016 г. № 964/пр. [Code of Rules SP 104.13330.2016 “Engineering Protection of the Territory from Flooding and Flooding”. Updated version of SNiP 2.06.15-85. Approved by order of the Ministry of Construction, Housing and Communal Services of the Russian Federation dated December 16, 2016 N 964/pr, (In Russ.)]
21. Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера». Принят Государственной Думой 11 ноября 1994 г. [Federal Law of December 21, 1994 No. 68-FZ “On the Protection of the Population and Territories from Natural and Man-Made Emergencies”. Adopted by the State Duma on November 11, 1994, (In Russ.)]
22. Постановление Правительства РФ от 18 апреля 2014 г. № 360 [Decree of the Government of the Russian Federation of April 18, 2014 No. 360, (In Russ.)]
23. Федеральный закон «О стратегическом планировании в Российской Федерации» (с изменениями на 31 июля 2020 г.) [Federal Law “On Strategic Planning in the Russian Federation” (as amended on July 31, 2020), (In Russ.)]
24. Стратегический менеджмент / Под редакцией Петрова А. Н. СПб.: Питер. 2005. 496 с. [Strategic Management / Edited by A. N. Petrov. St. Petersburg: Peter. 2005. 496 p., (In Russ.)]
25. Распоряжение Правительства РФ от 27.08.2009 № 1235-р (ред. от 17.04.2012) «Об утверждении Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года». [Decree of the Government of the Russian Federation No. 1235-r of 27.08.2009 (ed. 17.04.2012) “On the Approval of the Water Strategy of the Russian Federation for the Period until 2020”, (In Russ.)]
26. Бюллетень Счетной палаты Российской Федерации. 2022. № 5. Водные ресурсы. 125 с. [Bulletin of the Accounts Chamber of the Russian Federation. 2022. No. 5. Water resources. 125 p., (In Russ.)]

## Сведения об авторе

**Болгов Михаил Васильевич:** доктор технических наук, главный научный сотрудник Института водных проблем РАН (ИВП РАН)

Количество публикаций: 250, в т. ч. 5 монографий

Область научных интересов: инженерная гидрология, стохастическое моделирование, вероятностные методы, катастрофические события, водохозяйственные системы

ResearcherID: P-2963-2014

Scopus Author ID: 55949923400

ORCID: 0000-0003-3193-6488

Контактная информация

Адрес: 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3

bolgovmv@mail.ru

Статья поступила в редакцию: 24.08.2022

Одобрена после рецензирования: 18.10.2022

Принята к публикации: 21.10.2022

Дата публикации: 29.12.2022

*The article was submitted: 24.08.2022*

*Approved after reviewing: 18.10.2022*

*Accepted for publication: 21.10.2022*

*Date of publication: 29.12.2022*