

УДК 556.06; 504.453; 504.75.06  
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2020.32.60.009

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВКЛАДА ЗАБЛАГОВРЕМЕННЫХ ПРОТИВОПАВОДКОВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ В СНИЖЕНИЕ УЩЕРБА ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ, СВЯЗАННЫХ С НАВОДНЕНИЯМИ

*Ткаченко П.Н., к.т.н.; Вакорин М.В.*

*ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России»*

**Аннотация.** Рассматриваются существующие методики выбора противопаводковых мероприятий. Дано описание наиболее перспективных подходов и выделены некоторые недостатки, препятствующие решению задачи выбора рационального состава противопаводковых мероприятий. Предложена методика оценки вклада заблаговременных противопаводковых мероприятий в снижение ущерба от наводнений на основе ранжирования. Приведен пример оценки вклада противопаводковых мероприятий в снижение ущерба от наводнений на реке Томь по исходным данным за 2018 год.

**Ключевые слова.** Томская область, предупреждение наводнений, противопаводковые мероприятия, оценка ущерба от наводнений.

## ANALYSIS OF THE PROBLEM SITUATION IN CASE OF USING INFORMATION FLOOD FORECASTING SYSTEMS BY UNITS OF EMERCOM OF RUSSIA

*Tkachenko P.N., Ph.D. of Engineering Sciences; Vakorin M.V.*

*The Civil Defence Academy of EMERCOM of Russia*

**Abstracts:** The existing methods of choosing flood control measures are considered. A description of the most promising approaches is given and some disadvantages are highlighted that impede the solution of the problem of choosing a rational composition of flood control measures. A method is proposed for assessing the contribution of early flood control measures to reducing flood damage based on ranking. An example is given of assessing the contribution of flood control measures to reducing flood damage on the Tom River according to the initial data for 2018.

**Keywords:** Tomsk region, flood prevention, flood control measures, flood damage assessment.

Оценка эффективности проводимых мероприятий требует научного обоснования, что подтверждает большое количество диссертационных исследований в различных областях науки [1-3 и др.]. Наиболее распространенным является подход к оценке мероприятий, в основе которого лежит критерий экономической эффективности. Это утверждение справедливо и в отношении оценки превентивных противопаводковых мероприятий.

Наибольшую степень разработанности имеют методики оценки инженерно-технических мероприятий. Такая научно-техническая дисциплина как гидрология создавалась в первую очередь для обеспечения инженерно-строительной деятельности необходимыми расчетами расходов воды и ее уровней [4]. Подробное описание достоинств указанных методик можно найти в работах [5-14].

Так, например, в [10] подробно рассмотрена расчистка верхних бьефов гидроузлов с учетом влияния некоторых дополнительных факторов (степень влияния на рыбное хозяйство и энергетику) и может применяться для зарегулированных рек. Однако, в основе методики лежит оценка только средневзвешенного ущерба сельскому хозяйству, а эффективность определяется только затратами на проводимое мероприятие по зависимости:

$$\Xi = (\text{Экономический результат} - \text{Затраты ПММ}) \rightarrow \max \quad (1)$$

Анализ выражения (1), позволяет сделать вывод о необходимости дальнейшей детализации и учета дополнительных факторов, оказывающих влияние на предотвращенный ущерб.

Исследование Степанова К.А. [12], в котором приведен анализ значительного числа моделей паводка, предложена экспресс-технология инженерного обоснования противопаводковых мероприятий. Как и большинство основанных на ГИС, эта технология позволяет рассчитать изменения площади зоны вероятного затопления за счет 3-D моделирования рельефа и дамб обвалования. Мероприятия, связанные с расчисткой русел, а также другие виды не инженерных мероприятий оцениваются в меньшей степени или вообще не могут быть учтены.

Аналогичный метод геомоделирования лег в основу работы Слесаревой Л.С. [13]. Полученные результаты справедливы для мероприятий защиты от нагонных наводнений и не могут применяться в условиях паводков, которые осложнены заторными явлениями.

Ряд других работ [15-17] также позволяет оценивать экономический эффект одного мероприятия или некоторого комплекса инженерной защиты территорий, подверженных затоплению.

Относительно более новыми, и на мой взгляд наиболее перспективными являются подходы на основе теории риска. Применительно к заторным наводнениям можно выделить труды Бузина В.А. [18 и др.], которые послужили основой для оценки вклада противозаторных мероприятий. Например, в [14] максимально возможный риск заторного наводнения рассчитывается по формуле:

$$R_p = P_{II}(n \cdot \Omega + C) \quad (2)$$

где  $n$  – прямые потери;

$\Omega$  – площадь затопления застроенной территории при расчетном уровне воды;

$C=0$  – если мероприятия не проводятся;

$P_{II}$  – вероятность паводка.

В выражении (2) предлагается принимать равным стоимости проведения противозаторных мероприятий. Такой подход не позволяет выявить преимуществ мероприятий с примерно одинаковой стоимостью, не устанавливает зависимости от объема выполненного мероприятия, не в полной мере учитывает влияние на смежные водохозяйственные отрасли экономики, что может привести к нерациональному определению состава противопаводковых мероприятий.

Существует направление, также использующее подходы теории риска, в соответствии с которым проводится зонирование территории по степени опасности [19, 20]. Зонирование позволяет определить перечень мероприятий, который возможно проводить для каждой зоны. При этом рекомендации не ограничиваются только инженерными мероприятиями, однако выбрать рациональный комплекс противопаводковых мероприятий на основании такого подхода нельзя.

Результаты проведенного анализа позволяют сделать вывод о том, что существующий научно-методический аппарат по оценке противопаводковых мероприятий имеет ряд недостатков, которые не позволяют решить задачу оценки вклада противопаводкового мероприятия в снижение ущерба. К таким недостаткам можно отнести:

1. Отсутствие единых подходов к оценке противопаводковых мероприятий;
2. Использование разных критериев эффективности;
3. Трудности учета нескольких вариантов развития прогнозируемого паводка.

В настоящее время представление об ущербе от наводнений сформировано для большинства территорий Российской Федерации, однако, это представление не является постоянной величиной. Такого рода непостоянство, подчиняющееся стохастическим законам, приводит к искаженной оценке ущерба. Поэтому имеет место ситуация, когда в спокойные по гидрологическим условиям периоды происходит интенсификация использования территорий, подверженных риску наводнений. И наоборот, наводнение, однажды принесшее серьезный ущерб, может послужить причиной проведения экономически неоправданных мероприятий.

В связи с многофакторностью и случайностью рассматриваемых процессов для построения зависимостей как ущерба, так и вклада в его снижение необходимо проводить обработку больших объемов разнородных данных. Такая задача может быть выполнена только при проведении индивидуальных форм оценки ущерба для конкретной территории, что в свою очередь ставит под вопрос экономическую целесообразность такой оценки. Поэтому ранжирование заблаговременных противопаводковых мероприятий должно основываться на комплексной оценке, которая позволяет учитывать результаты расчетов нескольких методик оценки ущерба.

**Постановка задачи.** Пусть – множество альтернатив проведения противопаводковых мероприятий.

Значение  $r_i \in N$  – множество значений ранга альтернативы  $x_i$  в ряду упорядоченных по предпочтению выбранных противопаводковых мероприятий. Для учета возможных вариантов развития паводка, информация о предпочтениях множества результатов оценки вклада в снижение вероятного ущерба  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$  представим в виде интервального порядкового числа  $r'$ . При этом альтернативе  $x_i$  может быть присвоен любой ранг из ряда  $r'$ .

Для  $m$  ранжирований оценок ущерба  $S$  необходимо найти  $n$  альтернатив результирующего ранжирования, показывающего значение вклада выбранного противопаводкового мероприятия с учетом их значений в каждом из  $m$  исходных ранжирований.

**Решение.** Для сравнения двух интервальных порядковых чисел  $a'$  и  $b'$  воспользуемся понятием «степени вероятности», определяемым по формуле [21]:

$$P(a' > b') = \frac{Y_{a' > b'} + 0,5Y_{a' = b'}}{Y} \quad (3)$$

где  $Y$  – мощности множеств.

Методикам оценки вероятного ущерба необходимо присвоить весовые коэффициенты, например, методами экспертных оценок.

На основании (3) и присвоенных весовых коэффициентов  $\omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m\}$  рассчитаем матрицу предпочтений  $A=(a_{ij})$  при этом

$$a_{ij} = \sum_{k=1}^m \omega_k P \quad (4)$$

Нахождение итогового ранжирования проведем путем представления матрицы  $A$  как взвешенного ориентированного графа, у которого множество вершин является множеством  $X$  и  $a_{ij}$  выражает вес дуги  $(x_i, x_j)$ . Матрица  $A$  составляет основу формируемой матрицы  $S=(s_{ij})$ , которая объединяет результаты попарных сравнений альтернатив в виде отношения:

$$s_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} \quad (5)$$

Итоговое ранжирование выражается неотрицательным ранговым вектором  $r=(r_1, r_2, \dots, r_n)$ , в котором  $r_i$  показывает силу альтернативы  $x_i$  из матрицы  $S$ . Сила альтернативы оценивается на основе ее взаимодействия со всеми другими, принимая во внимание силы каждой альтернативы. И ранг альтернативы  $x_i$  может быть получен следующим образом:

$$r_i = \sum_{k=1}^n s_{ik} r_k \quad (6)$$

Так как вектор  $r$  относится к неотрицательным собственным векторам найти его можно при помощи итерационного степенного метода [21].

**Пример.** В соответствии с классификацией [22] определим вклад заблаговременных мероприятий, влияющих на частоту возникновения наводнений для реки Томь по данным о расходах и уровнях воды за 2018 год. Множество альтернатив  $X$  представлены в таблице 1.

**Таблица 1. Альтернативы проведения заблаговременных мероприятий, влияющих на частоту возникновения наводнений [22]**

Обозначение	Содержание мероприятий
$x_1$	Создание инженерных сооружений
$x_2$	Искусственное повышение территорий
$x_3$	Берегоукрепительные работы
$x_4$	Дноуглубительные работы
$x_5$	Обслуживание и ремонт инженерных сооружений
$x_6$	Посадка лесозащитных полос в бассейнах рек
$x_7$	Сохранение лесов и растительности прибрежных территорий
$x_8$	Расчистка и/или спрямление русла реки
$x_9$	Распашка земли поперек склона
$x_{10}$	Прогнозирование уровня и расхода воды в створе
$x_{11}$	Прогноз заторных явлений

Для оценки вклада в снижение ущерба выбраны результаты оценки вероятного ущерба  $S$  по указанным в таблице 2 методикам.

**Таблица 2. Используемые методы оценки ущерба**

Обозначение	Наименование методики
$s_1$	Модель развития событий по наиболее вероятному наихудшему возможному сценарию [23]
$s_2$	Геоинформационная модель «I-GIS.Модуль Паводок» [24]
$s_3$	Модель оценки ущерба на основе зонирования территорий [20]

Влияние на размер ущерба, при проведении мероприятия  $x_i$  представлены в виде интервального порядкового числа, при этом границы интервалов определяют ранг влияния при наиболее благоприятном и наиболее неблагоприятном сценарии. Полученные интервалы приведены в таблице 3.

**Таблица 3. Интервальные порядковые числа, полученные по выбранным методикам**

Методика	Альтернатива										
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$
$s_1$	[1,4]	[2,7]	[1,5]	[1,3]	[4,11]	[9,11]	[6,10]	[2,6]	[5,11]	[1,4]	[2,5]
$s_2$	[2,6]	[1,5]	[1,6]	[5,8]	[1,7]	[7,10]	[7,11]	[1,4]	[4,8]	[7,9]	[2,7]
$s_3$	[2,5]	[1,5]	[2,4]	[1,4]	[3,6]	[5,11]	[4,9]	[3,5]	[3,9]	[3,8]	[3,6]

Матрица предпочтений, сформированная на основании выражений (3) и (4) (при этом весовые коэффициенты были приняты равными 0,33), имеет вид:

$$A = \begin{pmatrix} 0,5 & 0,267 & 0,675 & 0,679 & 0,545 & 0,211 & 0,138 & 0,691 & 0,843 & 0,503 & 0,317 \\ 0,733 & 0,5 & 0,672 & 0,777 & 0,754 & 0,721 & 0,522 & 0,548 & 0,608 & 0,651 & 0,673 \\ 0,325 & 0,328 & 0,5 & 0,711 & 0,485 & 0,172 & 0,14 & 0,134 & 0,726 & 0,215 & 0,583 \\ 0,321 & 0,223 & 0,289 & 0,5 & 0,584 & 0,016 & 0,31 & 0,447 & 0,529 & 0,524 & 0,243 \\ 0,455 & 0,246 & 0,515 & 0,416 & 0,5 & 0,769 & 0,085 & 0,598 & 0,375 & 0,878 & 0,405 \\ 0,789 & 0,279 & 0,828 & 0,986 & 0,231 & 0,5 & 0,545 & 0,821 & 0,136 & 0,489 & 0,929 \\ 0,826 & 0,478 & 0,86 & 0,69 & 0,915 & 0,455 & 0,5 & 0,489 & 0,689 & 0,35 & 0,44 \\ 0,309 & 0,452 & 0,866 & 0,553 & 0,402 & 0,179 & 0,511 & 0,5 & 0,502 & 0,414 & 0,345 \\ 0,157 & 0,392 & 0,274 & 0,471 & 0,625 & 0,864 & 0,311 & 0,498 & 0,5 & 0,392 & 0,707 \\ 0,497 & 0,349 & 0,785 & 0,476 & 0,122 & 0,511 & 0,85 & 0,586 & 0,608 & 0,5 & 0,249 \\ 0,683 & 0,327 & 0,417 & 0,757 & 0,595 & 0,071 & 0,56 & 0,655 & 0,293 & 0,751 & 0,5 \end{pmatrix} \quad (7)$$

Используя выражение (6), рассчитываем ранговый вектор :

$$r = (0,141 \quad 0,112 \quad 0,163 \quad 0,098 \quad 0,072 \quad 0,075 \quad 0,082 \quad 0,154 \quad 0,036 \quad 0,024 \quad 0,043)$$

Таким образом, итоговое ранжирование мероприятий записывается как

$$X_3 > X_8 > X_1 > X_2 > X_4 > X_7 > X_6 > X_5 > X_{11} > X_9 > X_{10}$$

Полученный ранговый вектор может быть использован при решении задачи выбора рационального состава противопаводковых мероприятий [22].

### **Выводы**

1. В результате проведенного анализа существующих методик выбора противопаводковых мероприятий установлено, что при относительно высокой степени научного обоснования выбора противопаводковых мероприятий отсутствует комплексный подход, который позволил бы оценивать выбираемые мероприятия по единым критериям и с учетом нескольких вариантов развития прогнозируемого паводка.
2. Предложена методика ранжирования противопаводковых мероприятий основанная на комплексной оценке, которая позволяет учитывать недостатки существующего научно-методического аппарата.
3. Проведено ранжирование заблаговременных противопаводковых мероприятий для реки Томь с использованием трех методик оценки ущерба по исходным данным за 2018 год. Установлен приоритет проведения берегоукрепительных работ, при этом по данным анализа прохождения весеннего паводка на территории Томской области за 2018 год в большинстве муниципальных образований берегоукрепление не проводилось.

### **Литература**

1. Минеева, А. С. Экономическая оценка организационно-технических мероприятий по повышению энергоэффективности горнодобывающих компаний: дис. кандидата экономических наук: 08.00.05 / Минеева Анна Сергеевна; [Место защиты: С.-Петерб. гор. ун-т]. - Санкт-Петербург, 2017. - 168 с.
2. Головнева, Т. И. Комплексная оценка антропогенного загрязнения почв территории Иркутской области и разработка мероприятий по их восстановлению: диссертация кандидата технических наук : 25.00.36 / Головнева Татьяна Игоревна; [Место защиты: Чит. гос. ун-т]. - Иркутск, 2010. - 131 с.
3. Хамид, Х. А. Оценка эффективности противооползневых мероприятий и сооружений в связи с инженерно-строительным освоением оползнеопасных территорий : диссертация кандидата технических наук : 05.23.02 / Киевский инж.-строит. ин-т. - Киев, 1992. - 187 с.
4. К вопросу прогнозирования наводнений // Гидросфера. Опасные процессы и явления. Т. 1, вып. 1. - 2019. № 4 (35). С. 146.
5. Суханова, Н. Н. Методологические основы страхования гидротехнических сооружений : диссертация ... кандидата экономических наук : 08.00.05. - Москва, 2000. - 159 с.
6. Рубин, О. Д. Научное обоснование путей повышения безопасности гидротехнических сооружений: диссертация доктора технических наук: 05.23.07. - Москва, 2002. - 688 с.
7. Гусев, Н. Н. Методология создания и эксплуатации информационной системы мониторинга безопасности зданий и сооружений опасных производственных объектов и гидротехнических сооружений : диссертация ... доктора технических наук : 05.25.05 / Гусев Николай Николаевич; [Место защиты: С.-Петерб. гос. ун-т ГПС МЧС России]. - Санкт-Петербург, 2008. - 472 с.
8. Андреев, А. Е. Управление потоками за водопропускными сооружениями в составе противопаводковых защитных комплексов: диссертация доктора технических наук : 05.23.04. - Санкт-Петербург, 1998. - 403 с.
9. Кунаков, Ю. Н. Совместная обработка пространственной информации в виде цифровых карт и космических снимков для планирования противопаводковых мероприятий: диссертация ... кандидата технических наук: 05.13.01 / Кунаков Юрий Николаевич; [Место защиты: Уфим. гос. авиац.-техн. ун-т]. - Уфа, 2009. - 232 с.
10. Подлесный, А. А. Эколого-экономическая оценка противопаводковых мероприятий на зарегулированных реках : диссертация... кандидата технических наук : 05.23.07 / Производ. объед. по изысканиям, исследованиям, проектированию и строительству водохоз. и мелиоративных объектов. - Москва, 1993. - 25 с.
11. Использование БЛА для мониторинга состояния безхозных противопаводковых ГТС // Гидросфера. Опасные процессы и явления. Т. 2, вып. 1. - 2020.

12. Степанов, К. А. Моделирование паводковых и прорывных волн для обоснования мероприятий по защите сельскохозяйственных земель от затопления: диссертация ... кандидата технических наук: 06.01.02 / Степанов Константин Александрович; [Место защиты: Всерос. науч.-исслед. ин-т гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова]. - Москва, 2013. - 125 с.
13. Слесарева, Л. С. Развитие методов геомоделирования и оценки рисков в геосистемах природного характера: на примере наводнений: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 25.00.35 / Слесарева Людмила Сергеевна; [Место защиты: Рос. гос. гидрометеорол. ун-т (РГГМУ)]. - Санкт-Петербург, 2013. - 23 с.
14. Банщикова, Л. С. Наводнения на реках, вызванные заторами льда, методика их мониторинга и оценки риска: автореферат дис. ... кандидата географических наук: 25.00.27 / Банщикова Любовь Святославовна; [Место защиты: Рос. гос. гидрометеорол. ун-т (РГГМУ)]. - Санкт-Петербург, 2009. - 20 с.
15. Чуносков, Д. В. Обоснование мероприятий по защите от подтопления урбанизированных территорий на основе теории риска: диссертация ... кандидата технических наук: 05.23.07 / Чуносков Дмитрий Валерьевич; [Место защиты: Науч.-исслед. ин-т ВОДГЕО]. - Москва, 2012. - 133 с.
16. Карнауков, В. Н. Обвалование и создание русел сложного сечения рек-водоприемников при защите пойменных земель от затопления: диссертация ... кандидата технических наук: 06.01.02 / Белорус. НИИ мелиорации и водн. хоз-ва. - Минск, 1988. - 240 с.
17. Малышев, Б. Н. Обоснование параметров гибких быстровозводимых дамб из высокопрочных композитных материалов: диссертация ... кандидата технических наук: 05.23.07. - Новочеркасск, 2003. - 171 с.
18. Бузин, В. А. Заторы льда и заторные наводнения на реках / В. А. Бузин. - Санкт-Петербург: Гидрометеоздат, 2004. - 202, [1] с.
19. Кириллова, С. В. Методы оценки опасности наводнения на основе данных мониторинга и средств вычислительного эксперимента : диссертация ... кандидата технических наук : 05.11.13. - Красноярск, 2007. - 187 с.
20. Шаликовский, А. В. Основы рационального использования паводкоопасных территорий: диссертация... доктора географических наук: 25.00.36 / Шаликовский Андрей Валерьевич; [Место защиты: Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов»]. - Екатеринбург, 2004. - 231 с.: 17 ил.
21. Орлов А.И., Луценко Е.В. Системная нечеткая интервальная математика. Монография (научное издание). – Краснодар, КубГАУ. 2014. – 600 с.
22. Вакорин М.В., Ткаченко П.Н., Письменский Н.В. Постановка научной задачи обоснования рационального комплекса мероприятий для снижения ущерба от наводнений на реках со снежным типом формирования речного стока // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2019. № 4 (43). С. 63–71.
23. Пояснительная записка к плану мероприятий по смягчению рисков и реагированию на ЧС в паводкоопасном периоде на территории Томской области в 2018 году. – Томск: Главное управление МЧС России по Томской области, 2017. 36 с.
24. Интегрированная геоинформационная система Томской области – I-GIS. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://irgis.tsu.ru/?page\\_id=121](http://irgis.tsu.ru/?page_id=121)(дата обращения: 18.04.2020).