

КЛАССИФИКАЦИЯ ПАВОДКОВ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ПРОТИВОПАВОДКОВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

А. В. Петроченко, кандидат технических наук

Киевский национальный университет строительства и архитектуры,
г. Киев, Украина

Аннотация

Рассмотрены вопросы паводков как существенной составляющей современной глобальной проблемы воды на планете. Ввиду структурной сложности и необходимости эффективного решения этой проблемы доказана целесообразность классификации паводков и систематизации мероприятий по защите от них. Выполнена классификация паводков различной интенсивности. Разработана системная схема гидротехнических противопаводковых мероприятий. Рассмотрено два типа защиты от паводков: ситуационный и превентивный, а также выделены основные виды ситуационных и превентивных противопаводковых мероприятий. Даны рекомендации по выбору наиболее эффективных вариантов защитных мероприятий на стадии интегрированного управления рисками паводков в бассейнах рек.

Ключевые слова: системный анализ, паводок, классификация паводков, зона риска паводков, типы защиты от паводков, виды защиты от паводков, варианты защиты от паводков.

Abstract

A. V. Petrochenko

CLASSIFICATION OF HIGH WATER AND HIGH WATER PROTECTION MEASURES SYSTEMATIZATION

High water issues as an essential component of the modern global water problem on the planet are considered. In view of the structural complexity and the urgent need for an effective solution to this problem, the expediency of high water classification and protection measures systematization has been proved. The classification of floods of various intensities has been performed. A systematic scheme of hydraulic high water control measures has been developed. Two types of high water protection are considered: situational and preventive, and the main types of situational and preventive high water protection measures are highlighted. Recommendations on choosing the most effective options for protective measures at the stage of integrated high water risk management in river basins are given.

Keywords: system analysis, high water, high water classification, high water risk hot spot, types of high water protection, high water protection options.

Введение

Вода является источником жизни на Земле. В условиях изменения климата и роста населения человечество сталкивается с двумя противоположными по характеру влияния на окружающую среду и жизнедеятельность проблемами: дефицитом воды в засушливых регионах планеты и возникновением ее избытка в бассейнах рек в виде наводнений и паводков [1].

Дефицит воды в Украине обусловлен низким показателем обеспеченности населения собственными водными ресурсами (w). По стандартам Европейской экономической комиссии ООН страна с показателем $w < 1,7$ тыс. м³/год на 1 человека считается необеспеченной собственными водными ресурсами. По данным базы международной экономической статистики *StatInfo.biz* Украина имеет показатель $w = 1,1$ тыс. м³/год на 1 человека.

Среди 68 наиболее крупных стран мира она занимает 54-е место по обеспеченности собственными водными ресурсами [2].

В Украине, несмотря на общий по стране дефицит воды, в северо-западных областях наблюдается ее избыток (в виде паводков). Это объясняется тем, что 70 % речного стока приходится на северо-западные области, где проживает 40 % населения, а 30 % речного стока – на юго-восточные, где проживает 60 % населения и находится 70 % агропромышленного комплекса [3]. В связи с этим распределение обеспеченности регионов Украины собственными водными ресурсами имеет ярко выраженный контрастный характер: в юго-восточных областях острый дефицит воды, а в северо-западных – частые паводки (табл. 1).

Таблица 1 – Обеспеченность регионов Украины собственными водными ресурсами местного речного стока (w , тыс. м³/год на 1 человека)

Южные области	w	Восточные и центральные области	w	Северо-восточные и северо-западные области	w	Северные и западные области	w
Херсонская	0,3...0,45	Луганская	0,45...1,0	Полтавская	1,0...2,0	Черниговская	2,0...3,0
Одесская		Харьковская		Сумская		Житомирская	
Николаевская		Кировоградская		Винницкая		Волынская	
Запорожская		Черкасская		Хмельницкая		Ивано-Франковская	3,0...7,0
Донецкая		Киевская		Черновицкая			
Днепропетровская				Тернопольская		Закарпатская	
			Львовская				
			Ровенская				

В наиболее острой форме проблема паводков проявляется в Карпатском регионе, где они носят наиболее разрушительный характер и могут повторяться 3–5 раз в год.

Появление паводков зависит от различных природных и техногенных причин. Также многочисленные факторы влияют на их характер и последствия прохождения. В связи с этим существует множество альтернативных способов и средств противопаводковой защиты. Известно, что эффективное решение сложной проблемы следует начинать с ее анализа и систематизации. Это применительно и к паводкам. В связи с тем,

Оценка и классификация паводков

Наводнение, половодье и паводок относят к опасным для жизнедеятельности человека природным явлениям, которые проявляются в подъеме уровня воды и затоплении территорий в поймах рек. В исследованиях вредного действия поверхностных вод в речных бассейнах термины «наводнение», «половодье» и «паводок» применяют следующим образом.

Наводнение – значительное затопление водной местности в речном бассейне в результате подъема уровня воды в реке.

Половодье – фаза водного режима реки, которая наблюдается ежегодно, наступает в один и тот же сезон и характеризуется зна-

что решение их проблемы имеет большое социальное, экологическое и народнохозяйственное значение, необходимо проводить исследования по классификации паводков, систематизации и оптимизации мер противопаводковой защиты.

Цель работы – совершенствование научно-методологических основ и методического инструментария разработки проектов эффективной защиты от паводков в бассейнах рек путем их классификации и систематизации противопаводковых мероприятий.

Методологической основой исследования является системный анализ.

чительным повышением уровня воды в реке вследствие весеннего таяния снега.

Паводок – фаза водного режима реки, которая характеризуется относительно кратковременным поднятием уровня воды в реке во время ливневых дождей, аварий на гидротехнических сооружениях, интенсивного таяния снегов при оттепелях.

Для общности изложения будем далее по тексту использовать для описания явлений общий термин «паводок».

Основной физической параметр паводка, который непосредственно определяет его вредное действие в бассейне реки, – его ин-

тенсивность. Чем она больше, тем более разрушительное действие и значительные убытки может нанести паводок.

Интенсивность паводка в расчетном створе русла реки определяют путем сравнения максимального расхода воды Q_{max} в паводковый период и расхода воды $Q_{меж}$ в меженный период двумя способами. По первому способу интенсивность паводка η_a определяют в виде разницы расходов воды Q_{max} и $Q_{меж}$:

$$\eta_a = Q_{max} - Q_{меж} \quad (1)$$

Более полную характеристику вредного действия паводка дает показатель его интенсивности η_r , определенный по второму способу в виде отношения расхода воды Q_{max} к расходу $Q_{меж}$:

$$\eta_r = Q_{max} / Q_{меж} \quad (2)$$

В гидрологии интенсивность паводка принято определять показателем его обеспеченности [4]. Для этого в каждом m -м году прошедшего периода наблюдений учитывают максимальные расходы воды Q_m в расчетном створе реки, которые размещают в ряд (3) в порядке их последовательного уменьшения:

$$Q_1 \geq Q_2 \geq Q_3 \geq \dots \geq Q_m \geq \dots \geq Q_{n-1} \geq Q_n, \quad (3)$$

где m – порядковый номер года в ряду;

n – количество лет наблюдений в ряду.

Обеспеченность паводка p_m в m -м году определяют как вероятность (в процентах) превышения расхода воды Q значения Q_m ($Q > Q_m$) по формуле:

$$p_m = \frac{m}{n+1} \cdot 100\% \quad (4)$$

Если предположить, что наблюдения выполняли на протяжении 100 лет ($n = 100$), формула (4) приобретет вид:

$$p_m = \frac{m}{100+1} \cdot 100\% \cong \frac{m}{100} \cdot 100\% = m_{(100)}, \quad (5)$$

где $m_{(100)}$ – количество паводков обеспеченности p_m , которые могут повторяться в течение 100 лет.

Тогда через показатель обеспеченности паводка p_m , определенный по формуле (4) в процентах, можно рассчитать вероятный период времени t_m (количество лет), через который такой паводок будет повторяться:

$$t_m = 100 / m_{(100)} = 100 / p_m \quad (6)$$

Использование показателя p_m , рассчитанного по формуле (5), дает возможность выделить пять характерных классов паводков в порядке увеличения их интенсивности (табл. 2).

Таблица 2 – Классификация паводков по показателю их обеспеченности p_m

Обеспеченность паводка p_m , %	Количество паводков на протяжении 100 лет, $m_{(100)}$	Вероятный период повторения t_m , лет	Класс паводка	Характерное название паводка
100	100	100/100=1	1	Малый (ежегодный)
25	25	100/25=4	2	Средний
5	5	100/5=20	3	Большой
2	2	100/2=50	4	Катастрофический
1	1	100/1=100	5	Особо выдающийся

Систематизация противопаводковых мероприятий

В результате проведенных исследований основных принципиальных решений защиты от паводков противопаводковые мероприятия систематизированы и представлены на схеме (табл. 3).

Представленную системную схему предложено использовать в процессе интегрированного управления рисками паводков в бассейнах рек для последовательного обоснования и выбора типа противопаводковой защиты,

вида противопаводковых мероприятий, а также наиболее эффективного варианта их выполнения. Высокая эффективность противопаводковых мероприятий достигается путем перебора и анализа их вариантов с использованием предложенной в работе [5] целевой функции

$$I_3 = \frac{ПУ_1}{З_1} \rightarrow \max, \quad (7)$$

где I_3 – индекс эффективности варианта мероприятий; $ПУ_1$ – общий предотвращенный социальный, экологический и экономический ущерб, определенный в денежных единицах как положительный эффект от применения на протяжении одного года варианта противопаводковых мероприятий; $З_1$ – общие затраты в денежных единицах, необходимые на выполнение варианта мероприятий на протяжении одного года.

Таблица 3 – Системная схема противопаводковых мероприятий

Управление рисками паводков	Обоснование мер защиты от паводков		Тип противопаводковой защиты					
	Реагирование на паводки	Прогноз паводков	Ситуационный			Превентивный		
			Краткосрочный			Долгосрочный		
		Выполнение противопаводковых мероприятий	Виды мероприятий	Предупредительные	Аварийно-спасательные	Аварийно-восстановительные	Адаптационные	Водно-ландшафтные
Порядок выполнения	Последовательное выполнение всех видов ситуационных мероприятий в едином процессе защиты от паводков			Выполнения одного из видов превентивных мероприятий, выбранного по результатам обоснования их технической надежности и экономической эффективности				

На первом этапе управления рисками паводков выбирают тип противопаводковой защиты: ситуационный и превентивный. В соответствии с ним все противопаводковые мероприятия также делят на ситуационные и превентивные. Различие между ними состоит в следующем. Противопаводковые мероприятия ситуационного типа (ситуационные мероприятия) осуществляют для защиты территории от определенного фиксированного паводка, в результате которого на ней возникает чрезвычайная ситуация. Ситуационные мероприятия выполняют в период приближения, прохождения и окончания паводка. Противопаводковые мероприятия превентивного типа (превентивные мероприятия) выполняют для защиты территорий в бассейнах рек от многих паводков, которые могут происходить

в будущем. Защитный противопаводковый эффект комплекса превентивных мероприятий обеспечивается в течение достаточно длительного периода времени после их выполнения. Выбор ситуационного или превентивного типа противопаводковой защиты следует производить после исследования видов противопаводковых мероприятий и альтернативных вариантов их выполнения по величине индекса эффективности мероприятий. Если определенный с использованием целевой функции (7) индекс эффективности I_3^c варианта выполнения ситуационных мероприятий будет больше индекса эффективности I_3^n варианта выполнения превентивных мероприятий ($I_3^c > I_3^n$), принимают ситуационный тип защиты от паводков. В случае, если $I_3^c < I_3^n$, в бассейне реки осуществляют превентивный тип защиты.

На втором этапе управления рисками паводков выполняют прогнозирование паводков. Если предусмотрены ситуационные противопаводковые мероприятия, осуществляется краткосрочное прогнозирование, а в случае превентивных мероприятий – долгосрочное.

Выполнение краткосрочных прогнозов основано на применении различных методов научного прогнозирования паводковой опасности, по которым определяют уровень паводковых вод и расход воды в реке в период прохождения паводка. С гидрологической точки зрения краткосрочное прогнозирование – один из видов гидрологических прогнозов, по которым предупреждения о приближении паводковой опасности можно получить не более чем за 12–15 дней до наступления паводка. Методы краткосрочного прогнозирования базируются на использовании закономерностей движения воды в руслах рек и притока (стока) воды на исследуемых участках русел. Основу исследований составляют расчеты трансформации водного потока во время его прохождения отдельных участков русел. В итоге выдается информация об ожидаемых максимальных расходах и уровнях воды. Результатом краткосрочных прогнозов является гидрограф притока воды в реку.

Долгосрочное прогнозирование паводков в бассейнах рек является основой для расчета индекса эффективности I_3^n варианта превентивных мероприятий и последующего принятия решения о целесообразности его применения. Долгосрочное прогнозирование состоит из двух частей: прогнозирование паводков по гидрологическим показателям и величине убытков. Гидрологические прогнозы выполняют для установления в будущем вероятных гидрологических показателей паводков в речных бассейнах: уровней воды в реках и расходов паводковых потоков. Долгосрочные прогнозы паводков по величине убытков выполняют для установления возможных социальных, экологических и экономических убытков от паводков, которые следует ожидать в будущем в случае невыполнения превентивных мероприятий. Принципиальные основы научно-методического инструментария, позволяющего составить долгосрочные прогнозы по гидрологическим показателям и величине убытков, приведены в [6]. В качестве основ-

ного методологического принципа долгосрочного прогнозирования был принят учет и анализ последствий паводков в речных бассейнах в прошедший период с целью определения убытков от паводков, которые следует ожидать в будущем, если не предпринимать превентивных мер защиты.

На третьем этапе управления рисками паводков определяют вид противопаводковых мероприятий и порядок их выполнения, пользуясь системной схемой (табл. 3).

В системе противопаводковой защиты ситуационного типа различают три вида противопаводковых мероприятий: предупредительные, аварийно-спасательные и аварийно-восстановительные. Характерной особенностью ситуационных противопаводковых мероприятий является то, что в процессе защиты от паводков выполняют все три вида этих мероприятий последовательно по мере приближения, прохождения и окончания паводка. Предупредительные мероприятия (работы) выполняют до наступления паводка на основе предварительно полученных краткосрочных прогнозов. Аварийно-спасательные мероприятия (работы) выполняют в течение всего периода прохождения паводка. Аварийно-восстановительные мероприятия (работы) выполняют по окончании паводка.

В системах противопаводковой защиты превентивного типа различают также три вида мероприятий: адаптационные, водно-ландшафтные и гидротехнические, которые выполняют с целью минимизации, а в некоторых случаях – полного предотвращения убытков от паводков в бассейнах рек.

Адаптационные мероприятия выполняют путем приспособления (адаптации) к действию паводков территорий и объектов в зонах риска. Водно-ландшафтные мероприятия осуществляют путем изменения условий формирования паводкового стока на площадях водосбора рек. Гидротехнические мероприятия выполняют с помощью гидротехнических сооружений, которые используют для защиты от паводков территорий и объектов в бассейнах рек путем регулирования движения паводковых потоков.

На четвертом этапе управления рисками паводков для каждого типа и вида противопаводковых мероприятий определяют наи-

более эффективные варианты их выполнения, используя целевую функцию (7).

В состав трех видов ситуационных противопаводковых мероприятий входит стандартный набор работ. Поиск наиболее эффективных вариантов осуществляют главным образом путем оптимизации качественных и количественных параметров рекомендуемого набора предупредительных, аварийно-спасательных и аварийно-восстановительных работ, учитывая при этом интенсивность паводка и местные условия.

Тогда как все виды ситуационных противопаводковых мероприятий обязательны и выполняются поэтапно в едином процессе реагирования на паводки, превентивные противопаводковые мероприятия являются альтернативными как на третьем этапе управления рисками паводков (выбор вида мероприятий), так и на четвертом (выбор вариантов выполнения мероприятий). Для каждой зоны риска паводков выбирают один из видов превентивных мероприятий и вариантов мероприятий этого вида.

К основным вариантам адаптационных превентивных противопаводковых мероприятий относят:

- вынос жилых зданий и хозяйственных построек за пределы зоны риска паводков;
- строительство домов и некоторых хозяйственных построек на сваях;
- приспособление промышленного производства к условиям периодического затопления;
- трансформацию сельскохозяйственных угодий, например выращивание многолетних трав и других культур, которые выдерживают временное затопление.

Основными вариантами водно-ландшафтных превентивных противопаводковых мероприятий являются:

- посадка на пути формирования паводковых потоков лесополос;
- создание прудов-накопителей;
- заболачивание территории;
- создание лесных массивов.

Гидротехнические противопаводковые мероприятия являются основными и наиболее эффективными среди других видов превентивных мероприятий. Они отличаются большим количеством альтернативных вариантов их выполнения. Варианты гидротехнических про-

тивопаводковых мероприятий образуются по схеме, приведенной на рис. 1 в виде различных комбинаций функциональных и технологических альтернатив. С позиций системного анализа выделено три функциональные альтернативы гидротехнических противопаводковых мероприятий.

Первой функциональной альтернативой Φ_1 является ускорение движения и увеличение расхода паводковых вод в руслах рек с целью уменьшения или недопущения подъема уровня воды в реках, проходящих в зонах риска паводков. Функциональной альтернативе Φ_1 соответствует три технологические альтернативы: спрямление русел рек (T_1); крепление русел рек (T_2); наращивание берегов рек (T_3).

Второй функциональной альтернативой Φ_2 является замедление движения и временная задержка части паводковых вод в руслах, долинах и поймах рек перед зонами риска. При этом достигается та же цель, что и при выполнении Φ_1 . Функциональной альтернативе Φ_2 соответствует четыре технологические альтернативы: устройство в руслах рек водорегулирующих порогов и полузапруд (T_4); строительство в руслах горных рек аккумулирующих водохранилищ (T_5); строительство ограждающих дамб для защиты от затопления территорий в зонах риска паводков (T_6); строительство водохранилищ и польдерных систем летнего типа в долинах и поймах рек (T_7).

В качестве третьей функциональной альтернативы Φ_k принимается комбинация Φ_1 и Φ_2 . Комбинированной технологической альтернативой T_k , соответствующей комбинированной функциональной альтернативе Φ_k , является строительство гидротехнических объектов и систем комплексной защиты от паводков в бассейнах рек. Целесообразность комбинации функциональных альтернатив Φ_1 и Φ_2 подтверждается возможностью снижения общих затрат на строительство комплексных систем защиты от паводков, что достигается оптимизацией их параметров методом бифуркации базиса, приведенным в работе [5].

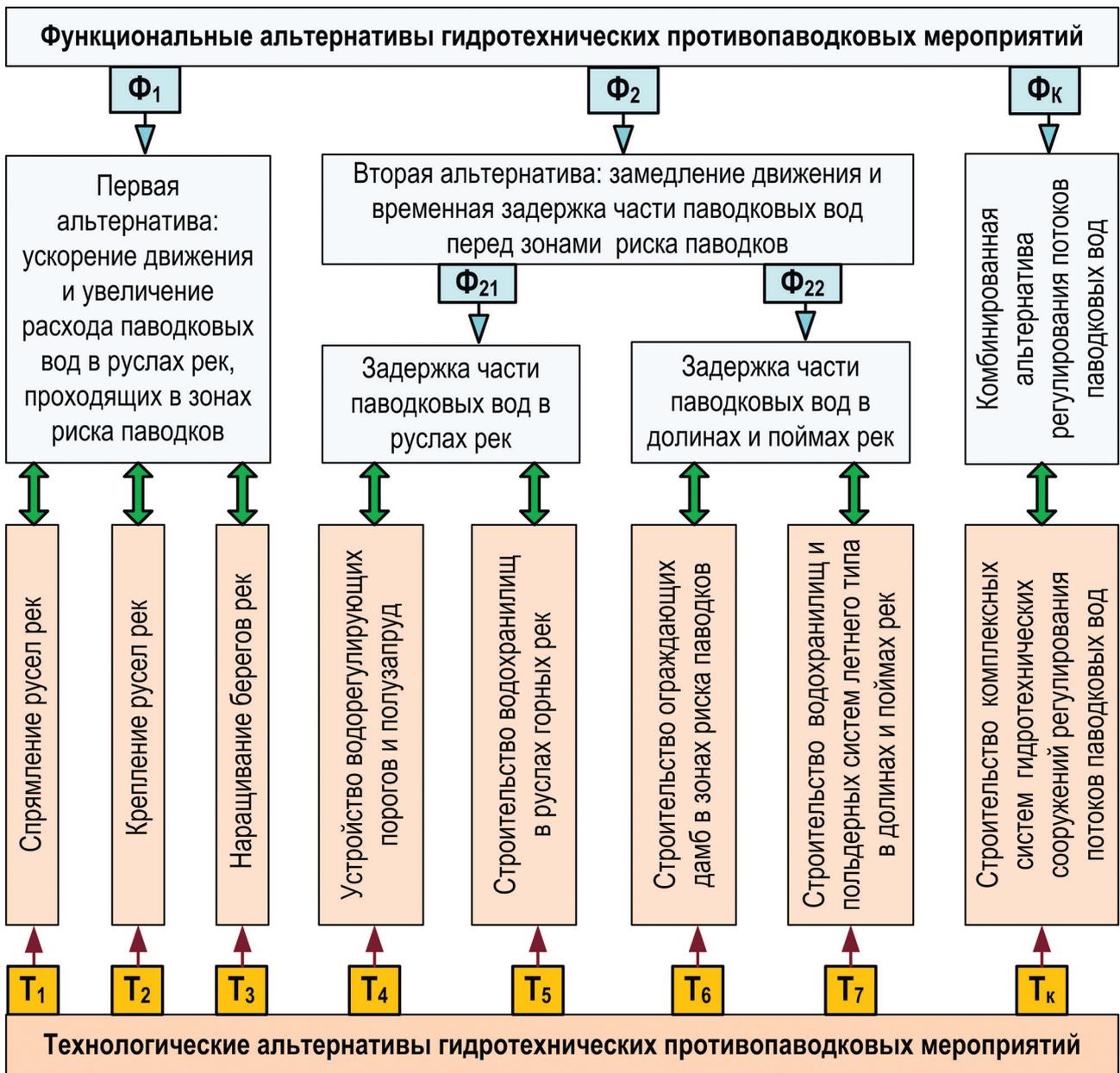


Рисунок 1 – Системная схема гидротехнических противопаводковых мероприятий

Заключение

Паводки являются частью общей проблемы воды на планете, которая в современных условиях развития человеческой цивилизации относится к числу глобальных. Сложность этой проблемы обусловлена тем, что паводки могут возникать по различным причинам природного и техногенного характера. Существует множество альтернативных способов и средств защиты от паводков.

Для усовершенствования научно-методологических основ и методического инструментария эффективного решения актуальной проблемы паводков выполнены исследования

по классификации паводков и систематизации противопаводковых мероприятий. В зависимости от показателя обеспеченности паводков выделено пять характерных классов паводков в порядке увеличения их интенсивности. Разработана и обоснована системная схема противопаводковых мероприятий, которую на стадии интегрированного управления рисками паводков в бассейнах рек предложено использовать путем последовательного обоснования и выбора типа противопаводковой защиты, вида противопаводковых мероприятий, а также наиболее эффективного варианта их выпол-

нения. На основе выделения и комбинации функциональных и технологических альтернатив превентивной защиты от паводков в бас-

сейнах рек разработан и систематизирован комплекс вариантов гидротехнических противопаводковых мероприятий.

Библиографический список

1. Петроченко, А. В. Проблема дефицита воды и паводков в Украине / А. В. Петроченко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 3 (71). – С. 133-140.
2. StatInfo.biz: международная экономическая статистика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://statinfo.biz/Data.aspx?act=6467&lang=1>.
3. Петроченко, А. В. Инновационные решения подготовки воды в системах сельскохозяйственного водоснабжения и орошения / А. В. Петроченко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 3 (63). – С. 142-150.
4. Самохин, А. А. Практикум по гидрологии / А. А. Самохин, Н. Н. Соловьева, А. М. Догановский. – Л. : Гидрометеоиздат, 1980. – 296 с.
5. Петроченко, В. И. Оптимизация проектных решений защиты от паводков в речных бассейнах / В. И. Петроченко, А. В. Петроченко // Мелиорация. – 2019. – № 2 (88) – С. 26-33.
6. Петроченко, В. И. Научно-методическое обоснование систем превентивной противопаводковой защиты территорий в бассейнах рек / В. И. Петроченко, А. В. Петроченко // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2018. – № 2 (110): Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика – С. 44-48.

Поступила 05.09.2019