УДК 556.166: 504.4

DOI: 10.35567/1999-4508-2020-2-5

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ РУСЛА РЕКИ АМУР У ГОРОДА ХАБАРОВСКА ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ПАВОДКОВ

Н.Н. Бортин, В.М. Милаев, А.М. Горчаков

E-mail: dvf@wrm.ru

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

АННОТАЦИЯ: Рассмотрены диапазон изменения максимальных годовых уровней и расходов воды реки Амур у г. Хабаровска за весь период наблюдений (1896—2019 гг.), количество выдающихся и катастрофических наводнений. По данным литературных источников описаны основные характеристики, формирующие русловые процессы на данном участке реки. Проведена оценка влияния природных и антропогенных факторов на пропускную способность расходов и уровней воды при катастрофических паводках и удорожания строительства защитных сооружений за счет роста экстремальных уровней воды, обусловленных антропогенными факторами. Предложена методика прогнозирования максимального уровня воды в районе Хабаровского водного узла.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: наводнения, русловые процессы, пропускная способность русла, естественные и антропогенные факторы, гидротехнические сооружения, прогноз уровней воды.

В последние десятилетия в бассейне и русле Амура и его основных притоках построено большое количество гидротехнических сооружений (ГТС), степень влияния которых на трансформацию экстремальных уровней воды практически не изучена. В данной статье на основе материалов наблюдений Росгидромета и литературных источников предпринята попытка проанализировать состояние русловых процессов и дать оценку степени влияния антропогенных факторов на трансформацию экстремальных уровней воды при выдающихся и катастрофических наводнениях в районе Хабаровского водного узла.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалами исследования послужили гидрологические наблюдения Росгидромета, опубликованные в различных статьях, монографиях и справочной литературе [1–10].

[©] Бортин Н.Н., Милаев В.М., Горчаков А.М., 2020

Регулярные наблюдения за уровнями воды в р. Амур у г. Хабаровска начались в конце XIX в. Наблюдения за уровнями производились на трех створах (табл.1).

Таблица 1. Сведения о гидропостах Росгидромета на р. Амур у г. Хабаровска

Table 1. Information about hydrological stations of Rosgidromet in the Amur River near Khabarovsk

Река – пункт	Расстояние от устья, км	Период наблю- дений, гг.	Отметка «0»поста, м БС		
р. Амур – г. Хабаровск	966 (р-н речного вокзала)	1896 –2020	31,15 до 01.01.1986 30,69 с 01.01.1986		
р. Амур – г. Хабаровск (гидроствор № 1)	962	1938–1957	24,56 до 01.01.1986		
р. Амур – г. Хабаровск (гидроствор № 2)	960,2 (р-н завода Дальдизель)	1958– 2020	24,10 c 01.01.1986		

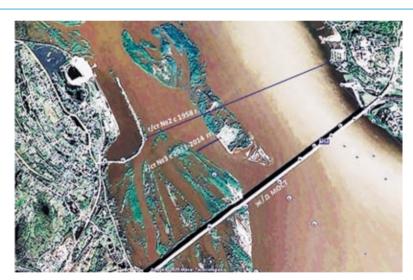


Рис. 1. Гидрометрический створ № 2 на р. Амур у г. Хабаровска. Fig. 1. Hydrometric range No 2 at the Amur River near Khabarovsk.

Расходы воды на р. Амур у г. Хабаровска измеряются на гидростворе № 2, расположенном в 0,8 км ниже железнодорожного моста (~960 км от устья) (рис. 1 и рис. 2) [1–5]. Поток воды за мостом направлен по основному руслу и по протоке, отделенной от русла островом. Доля стока воды по протоке зависит от уровня воды в реке. На рис. 3 показано соотношение расхо-

дов воды в протоке и в основном русле, в зависимости от уровня воды в реке в период с 2010 по 2019 гг. Через протоку проходит не более 10 % всего стока Амура у г. Хабаровска. При уровне на г/ст № 2 равном 700 см (31,1 м БС), сток в протоке снижается до 2 % по отношению к стоку основного русла реки.



Рис. 2. Автомобильный и железнодорожный мост через р. Амур у г. Хабаровска. Fig. 2. Motor road and railway bridge across the Amur River near Khabarovsk.

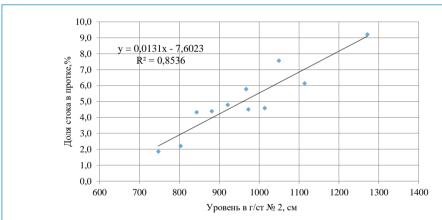


Рис. 3. Соотношение стока воды в протоке и в основном русле от уровня воды в р. Амур у г. Хабаровска.

Fig. 3. Dependence of the water flow in a canal and the main channel on the water level in the Amur River near Khabarovsk.

Данные кривых связи стока расходов воды и уровня в створе № 2 (рис. 4) свидетельствуют о разном характере связи для основного русла в отличие от протоки, что может быть обусловлено влиянием островов на левой стороне реки (рис. 1).

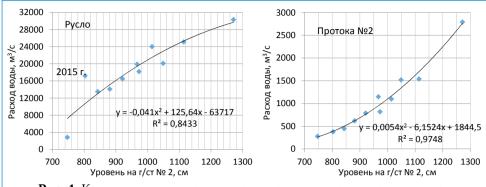


Рис. 4. Кривые связи измеренных расходов в паводки с уровнем воды на гидростворе № 2 в период 2010—2019 гг.

Fig. 4. The curves of correlation of the measured flows during the high-water periods with the water level in the reach No. 2 in the 2010–2019 period.

В качестве методики исследования влияния природных и антропогенных факторов на пропускную способность русла в период паводков приняты современные методы анализа и синтеза процессов, определяющих формирование наводнений.

За период наблюдений (1896—2019 гг., 123 года) максимальные годовые уровни и расходы воды изменялись от 65 см (8300 м 3 /с) в 2008 г. до 808 см (46 400 м 3 /с) в 2013 г. Среднее значение максимальных в году уровней за период наблюдений равно 432 см, максимальных расходов — 24 120 м 3 /с. Уровень выхода воды на пойму — 380 см.

Из всех природных рисков наводнения оказывают наибольшее негативное влияние на социально-экономическое развитие Амурского региона. В соответствии с градацией Росгидромета, наводнения подразделяются на «небольшие (малые)» с уровнем менее 500 см, «большие» при уровне 501—550 см, «выдающиеся» и «катастрофические». Наиболее опасными наводнениями являются «выдающиеся» при уровне воды на Амуре у г. Хабаровска в пределах 551—600 см и «катастрофические» при уровне 600 см (отметка уровня опасного явления) и более. За период наблюдений (123 года) выдающихся наводнений отмечено 11 (8,9 %), катастрофических — 10 (8,1 %) [8, 10].

Оценка влияния природных и антропогенных факторов на пропускную способность расходов и уровней воды при катастрофических наводнениях на Амуре, включая паводок 2013 г., рассмотрена в работе [9]. Авторы статьи констатируют, что из известных факторов, способных повлиять на ежегодные изменения пропускной способности русла р. Амур в районе г. Хабаровска, значимым остается лишь один — изменение морфологического строения речного русла и поймы реки в ходе естественных процессов руслоформирования. Основной причиной многолетних изменений пропускной

способности русла реки в нижнем течении Амура являются естественные и закономерные изменения морфологического строения русла, обусловленные транзитным движением донных руслоформирующих наносов в виде мезоформ (ленточных гряд, побочней и осередков) и многолетним циклическим развитием осередков-островов и их морфологических подводных элементов. Русловые процессы на р. Амур у г. Хабаровска приводят к морфологическим и динамическим изменениям главного русла реки.

Ранее динамика русловых процессов была рассмотрена в работах [6–9, 11], где отмечено, что русло Амура уже давно уходит от г. Хабаровска влево, если смотреть по ходу течения воды. Основное русло у города мелеет, увеличивается поток воды в протоках у левого берега — Пемзенской и Бешеной. На картах конца прошлого века на месте Пемзенской протоки был залив с входом там, где в настоящее время находится ее устье. Река промыла отделявший залив от русла перешеек и все увеличивающийся поток проходит мимо города. Причина этого явления — естественная, река стремится сократить свой путь. Миграция русла реки — нормальное явление природы, но угрожающее городу: река может «уйти» от портов и причалов, набережная окажется вдоль мелких проточек и островков.

В черте города у правого берега размещены основные водозаборные сооружения. Снижение потока основного русла способствует снижению скорости течения и создает благоприятные условия для выпадения песка, который в больших объемах несет река. Песок накапливается у оголовков труб, через которые амурскую воду подают на сооружения водоочистки. Необходимо его периодически откачивать. Образование новых островов и отмелей создает в основном русле препятствия движению вод и заставляет их уходить в Пемзенскую и Бешеную протоки. В качестве радикального мероприятия было решено перекрыть Пемзенскую и Бешеную протоки дамбами в их истоках и вернуть Амур в основное русло.

После изучения данной проблемы специалисты института Ленгипроречтранс разработали проект таких сооружений, который в настоящее время реализован. По проекту дамбы полузатопленные и только при низких уровнях будут перекрывать протоки полностью. Дополнительно планируется укрепление левого берега выше и ниже протоки Бешеной и углубление основного русла Амура у г. Хабаровска. Предполагается, что в результате сооружения дамб, основное русло Амура вернется к городу.

Частично ход руслового процесса в районе г. Хабаровска формируется также в приустьевой части р. Уссури путем наложения русловых процессов собственно Амура и его притока. Результатом является перемещение судового хода к левому берегу Амура, что приводит к постепенному заилению водозабора Хабаровска и акватории порта, перемещению руслоформирующего потока реки к левому берегу и его свалу в левобережные протоки.

Закономерности современной динамики русловых процессов и особенности формирования пойм рек, а также переформирование русла р. Амур у г. Хабаровска детально изложены в монографии [11], где акцентировано внимание на возможной трансформации пропускной способности русла Амура в районе г. Хабаровска и за счет антропогенного воздействия.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках данной работы рассмотрена связь максимальных годовых расходов и уровней воды $Q_m = f(H_m)$ р. Амур у г. Хабаровска за весь период наблюдений с 1896 по 2019 гг. (рис. 5 и рис. 6). В табл. 2 представлены координаты кривой расходов воды р. Амур у г. Хабаровска за разные периоды.

Таблица 2. Координаты кривой расходов воды р. Амур у г. Хабаровска за разные периоды

Table 2. Coordinates of the water flow curve for the Amur River near Khabarovsk over the different periods

Уровень воды	Расходы воды	по Q=f(H), м³/с	Разница		
над «0» поста, см	2000–2019 гг.	1896–2000 гг.	м ³ /с	%	
400	21 834	21 404	-430	-2,0	
450	24 240	24 205	-35	-0,1	
500	26 773	27 442	669	2,4	
550	29 433	31 114	1681	5,4	
600	32 220	35 223	3002	8,5	
650	35 135	39 766	4632	11,6	
700	38 177	44 746	6569	14,7	
750	41 346	50 161	8815	17,6	
800	44 642	56 012	11 370	20,3	
850	48 066	62 299	14 233	22,8	
900	51 617	69 021	17 405	25,2	

Анализ зависимости (рис. 5) показывает, что в целом расходы и уровни соответствуют соотношению природных факторов, сложившихся в р. Амур у г. Хабаровска. Однако при катастрофических наводнениях последних лет (2013, 2019 гг.) уровни воды не соответствуют обобщенной зависимости. Это можно объяснить тем, что в русле и пойме Амура выполнен ряд хозяйственных мероприятий, которые привели к существенным отклонениям уровней от естественной кривой: в 2013 г. – 1,08 м; в 2019 г. – 0,67 м. Данные отклонения с высокой степенью вероятности могут быть объяснены наличием подпорных явлений в районе Хабаровского водного узла, которые обусловлены изменениями в русловой и пойменной частях участка реки.

Анализ приведенных связей, представленный на рис. 5 и рис. 6, данных табл. 2 показывает, что при уровне 500 см (даже если принять за значимое расхождение между расходами воды 5 %) начинается смена кривой связи уровня от расхода воды.

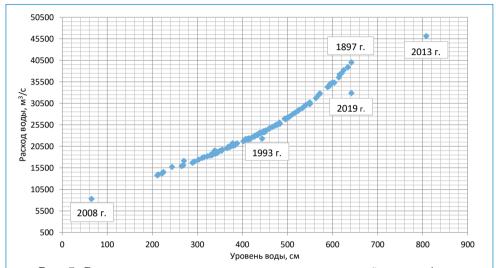


Рис. 5. Связь максимальных годовых расходов и уровней воды р. Амур у г. Хабаровска (створ № 1) за период 1986—2019 гг. Fig. 5. Linkage of the maximal annual flows and the Amur River water levels near



Научно-практический журнал № 2, 2020 г.

В период с 1992 по 2019 годы максимальные уровни воды выше 500 см наблюдались три раза (1998, 2013 и 2019 гг.). Максимальный расход воды 1998 г. при уровне 524 см составил 28 800 м³/с и практически лег на кривую расходов 1986—2000 гг. (из-за превышения отметки 500 см всего лишь на 24 см). При более высоких уровнях воды (выдающихся и катастрофических наводнениях) влияние антропогенных факторов на пропускную способность русла реки значительно усиливается за счет сужения русловой и пойменной частей.

К изменениям, приведшим к сужению русловой и пойменной частей участка р. Амур у г. Хабаровска (рис. 7), относятся:

- построенная дамба обвалования (польдер) на Большом Уссурийском острове (площадь острова 350 км², в составе КНР 170 км²; польдер \approx 54,6 км²);
- строительство полузатопленных дамб в истоках проток Пемзенской и Бешеной;
- реконструкция железнодорожного и строительство автодорожного моста через р. Амур с расширением диаметра опор;
- хаотичная застройка пойм, трансформирующая их функции аккумулятора стока;
- устройство защитного сооружения (ковша) вокруг оголовка городского водозабора в русле р. Амур (размер ковша $\approx 5000 \text{ м}^2$, для его сооружения использована каменная наброска из гранодиорита объемом 36 000 м³) [8];
- строительство противопаводковых дамб в районе г. Хабаровска. Дамба расположена на правом берегу Амура: протяженность 5,7 км, высота дамбы ≈ 1050 см над «0» графика, окончание строительства планируется в августе 2020 г.;
- действия КНР по одамбованию Амура на границе с Хабаровским водным узлом и уменьшению поперечного сечения русла (с частичным перекрытием) протоки Казакевичева.

Таким образом, пропускная способность русла р. Амур у г. Хабаровска при наводнениях определяется не только природными, но и антропогенными факторами. В основном (в более чем 90 % случаев) связь расходов и уровней воды, как показывает форма зависимости $Q_m = f(H_m)$ (рис. 5, рис. 6), обусловлена природными факторами. Однако при катастрофических наводнениях, наблюдавшихся в последние годы (в 2013 и 2019 гг.), отмечаются существенные отклонения максимальных уровней от многолетней зависимости. Данное обстоятельство с высокой вероятностью объясняется существенным влиянием антропогенного воздействия на пропускную способность русла р. Амур.

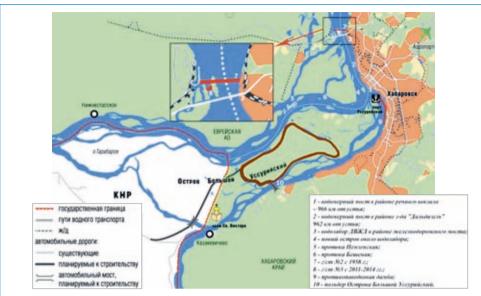


Рис. 7. Схема расположения островов и основных проток р. Амур у г. Хабаровска, водомерных постов Росгидромета и хозяйственной инфраструктуры в русле и на пойме реки.

Fig. 7. The schematic map of the Amur River islands and main canals location near Khabarovsk, water-gauging stations of Rosgidromet and economic infrastructure in the river bed and floodplain.

Иллюстрацией к изложенному может быть анализ соответствия максимальных годовых расходов и уровней воды в различные периоды наблюдений (с 1897 по 2019 гг.). Так, например, в 1897 г. максимальный уровень воды составил 642 см, расход — 40 000 м³/с. При уровне 642 см, наблюдавшемся в 2019 г., расход составил только 32 900 м³/с, что не соответствует кривой связи (рис. 5, рис. 6), обусловленной, в основном, естественными факторами. Данное обстоятельство может быть объяснено только наличием подпорных явлений, которые являются следствием антропогенного воздействия на русло и пойму реки, обусловленных перечисленными выше причинами.

В принципе, наблюдавшиеся в 2013 г. у г. Хабаровска расход и уровень воды в исторической перспективе могут быть превышены [10]. Представление о вероятном максимальном уровне воды р. Амур у г. Хабаровска дают сведения об исторических максимумах на Среднем Амуре и р. Сунгари (табл. 3). Так, по створу у с. Помпеевка исторический максимум расхода воды составляет 31 500 м³/с (за 66 лет), по р. Сунгари – 18 400 м³/с (за 57 лет). Вероятность превышения максимумов, соответственно, равна 1,4 и 1,8 %, их совпадение в сумме дает 49 900 м³/с, а с притоком р. Уссури (10 % от стока у г. Хабаровска) ~55 000 м³/с. По кривой расходов уровень воды при этом составит 750 см, а с учетом подпора — 860 см.

		Уровень	Уровень	Максимальный	Уровень		
Характерис- тика, год		р. Амур	р. Амур	годовой расход	р. Амур		
		у с. Черняево,	ево, у с. Гродеково, р. Сунгари		у г. Хабаровска,		
		СМ	СМ	у г. Цзямусы, м³/с	СМ		
	Исторический	1184/1958	1194/1928	18 400/1960	808/2013		
	максимум/год						
	P %	0,4	1,0	1,6	0,4-0,5		
	1984	884	1171	7130	620		
	2013	683	1144	13400	808		

Таблица 3. Характеристики катастрофических наводнений Table 3. Characteristics of catastrophic floods

Примечание: р. Амур – максимальные годовые уровни воды, см над «0» поста; р. Сунгари – максимальный годовой расход воды; Р % – обеспеченность исторического максимума.

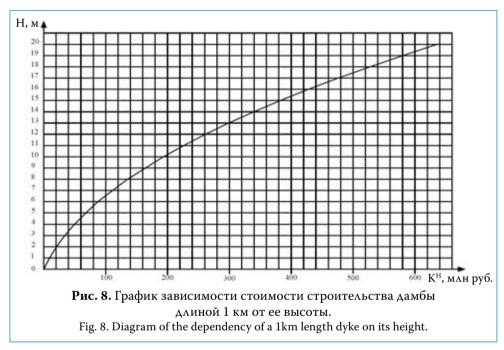
Вероятность данного уровня, с учетом взаимосвязи (корреляции) притока со Среднего Амура и р. Сунгари, составляет по приближенным оценкам 0,2–0,3 %. Обеспеченность уровня 2013 г. у г. Хабаровска оценивается, по данным Росгидромета, в 0,4–0,5 % [12]. В этой связи для данного участка реки уже возникает необходимость экономического обоснования расчетной обеспеченности максимальных уровней паводков в системе «ущерб-затраты» для целей проектирования и строительства защитных противопаводковых сооружений. Для примера выполнен расчет стоимости строительства дамб обвалования от их высоты в связи с возможным повышением уровня воды для рассматриваемого участка Амура.

Для обоснования необходимого объема капитальных затрат на проведение водохозяйственных мероприятий по защите от негативного воздействия вод применены укрупненные показатели стоимости строительства защитных гидротехнических сооружений в соответствии с методикой, разработанной ФГУП «ВНИИ минерального сырья и недропользования» [13].

На Дальнем Востоке для постоянной защиты от затопления городских, промышленных и сельскохозяйственных территорий применяются незатапливаемые дамбы обвалования. При проектировании этих сооружений высота дамбы является одной из главных характеристик этого типа защитных сооружений, которая влияет на стоимость строительства. Отметка гребня дамбы назначается на основе расчета его возвышения над расчетным уровнем воды. Расчетные уровни воды определяются пропуском максимальных расходов воды, которые в соответствии с п. 8.24 СП [14] надлежит принимать, исходя из ежегодной вероятности превышения, устанавливаемой в зависимости от класса сооружений для основного расчетного случая. Класс защитных сооружений определяется по таблице Б.3 СП [14]. Высота дамбы рассчитывается суммой следующих величин:

глубиной воды перед дамбой при расчетном уровне и возвышением гребня над расчетным уровнем.

Для определения стоимости строительства защитного сооружения была выбрана конструкция грунтовой дамбы с каменным креплением со следующими характеристиками: ширина гребня дамбы равна 6 м; заложение верхового откоса — 1:2; заложение низового откоса — 1:1,5. Стоимость строительства грунтовой дамбы определена в ценах IV квартала 2017 г. Результаты расчетов стоимости строительства дамбы с учетом изменения ее высоты в диапазоне от 3 до 20 м протяженностью 1 км приведены на рис. 8.



Рассмотрим два случая приращения стоимости строительства дамбы в зависимости от увеличения ее высоты. В первом случае строительство дамбы высотой 5 м. Стоимость строительства 1 пог. км этой дамбы составит 67,71 млн руб. Увеличение высоты дамбы на 1 м потребует приращения стоимости строительства на 20,02 млн руб. Во втором случае при строительстве дамбы высотой 10 м стоимость строительства 1 пог. км дамбы составит 193,3 млн руб. Увеличение высоты этой дамбы на 1 м приведет к удорожанию строительства на 32,8 млн руб. Таким образом, увеличение высоты дамбы повлечет существенные дополнительные затраты на строительство защитного сооружения. С увеличением высоты дамбы с 5 до 10 м стоимость 1 пог. км дамбы высотой 10 м возрастает в 2,85 раза.

В рамках проведенного исследования рассмотрена возможность краткосрочного прогноза максимальных уровней воды на Амуре у г. Хабаровска по связи с уровнями воды на вышерасположенном створе в с. Ленинское. Проанализированы 12 паводков, сформировавшихся на р. Амур с 2013 по 2019 гг. Особенностью паводка 2013 г. было то, что уровень опасного явления появился после с. Ленинское [15]. В паводок 1984 г., напротив, уровень опасного явления держался до с. Ленинское, а в паводок 1959 г. он наблюдался по всей длине реки. В табл. 4 представлены характеристики уровней на этих двух постах в паводки, прошедшие по Амуру с 2013 по 2019 гг.

Таблица 4. Характеристика перемещения пика паводка на р. Амур от с. Ленинское до г. Хабаровска Table 4. Characteristics of the flood peak moving along the Amur River from

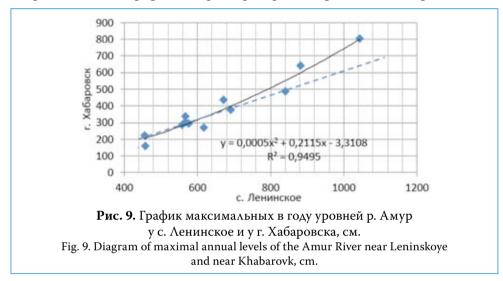
Leninskoye to	Khabarovsk

Дата пика паводка	Уров у с. Лени см над «О за 4 дня до пика	інское,	Интенсив- ность подъема, см/сут	Время добегания пика, сут	Уров у г. Хабај см над «О за 4 дня до пика	ровска,	Интен- сивность подъема, см/сут
24.05.2013	635	671	9,0	3	419	467	12,0
29.08.2013	1030	1044	3,5	5	772	805	8,3
05.09.2015	398	457	14,8	2	127	161	8,5
02.08.2015	539	567	7,0	2	327	338	2,8
15.07.2016	684	691	1,8	3	371	376	1,3
25.08.2016	498	558	15,0	3	255	291	9,0
11.09.2017	578	617	9,8	3	250	270	5,0
03.08.2018	797	841	11,0	4	455	487	8,0
07.07.2019	473	576	25,8	2	237	296	14,8
03.06.2019	478	568	22,5	4	261	304	10,8
20.06.2019	326	455	32,3	2	148	223	18,8
25.08.2019	836	881	11,3	4	600	617	4,3

Анализ данных табл. 4 позволяет сделать следующие выводы:

- Диапазон уровней Амура на пике рассматриваемых паводков составляет у с. Ленинское 5,89 м (455-1044 см), а у г. Хабаровска 6,44 м (161-805 см).
- Интенсивность подъема паводка за 4 дня до пика у с. Ленинское колебалась с 2 до 32 см/сут, в то время как у г. Хабаровска от 1 до 19 см/сут, что свидетельствует о распластывании паводка в ходе его продвижения по руслу.
- Связь соответственных максимальных уровней на обоих постах (рис. 9) довольно тесная (R^2 =0,95), что позволяет использовать ее для прогноза максимальных уровней воды на пике паводка с определенной заблаговременностью.

– Время добегания пика паводка от верхнего створа к нижнему колеблется от 2 до 5 сут, причем чем выше уровень на пике паводка и меньше интенсивность его подъема в верхнем створе, тем больше времени необходимо для достижения им нижнего створа, что обусловлено множеством антропогенных и природных факторов, рассмотренных выше (рис. 10).



На рис. 11 представлен график связи уровней на указанных постах на подъеме всех рассматриваемых паводков, описываемый полиномиальной кривой с коэффициентом детерминации 0,94.

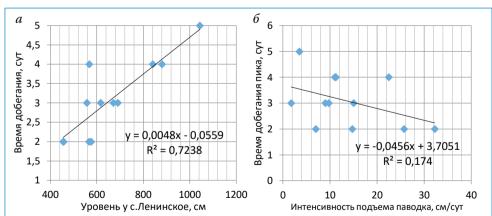
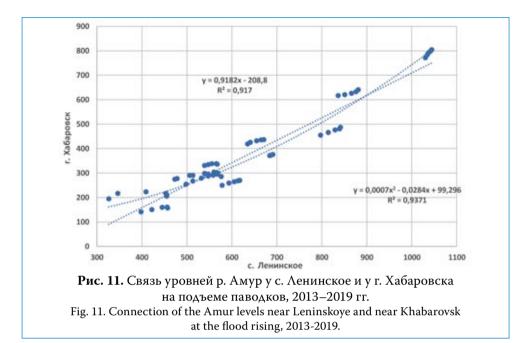


Рис. 10. Зависимость времени добегания пика паводка до г. Хабаровска: a — от уровня воды р. Амур; δ — от интенсивности подъема паводка у с. Ленинское. Fig. 10. Dependency of the flood peak lag time to Khabarovsk on: a — The Amur water level; δ — the flood rising intensity near Leninskoye.



Таким образом, используя зависимость соответственных уровней воды по постам с. Ленинское и г. Хабаровск (рис. 9), а также соотношение между значением уровня и временем добегания между этими створами (рис. 10), возможно составить предварительный прогноз максимального уровня воды у г. Хабаровска с определенной заблаговременностью – от 2 до 5 сут.

выводы

При уровнях воды в р. Амур более 500 см, т. е. при выдающихся и катастрофических паводках, влияние антропогенных факторов на пропускную способность русла реки значительно усиливается за счет сужения русловой и пойменной частей участка реки в результате застройки поймы и устройства различного рода гидротехнических сооружений по берегам и в русле Амура.

Антропогенная деятельность в русле и на пойме р. Амур, приводящая к непредсказуемому росту уровня воды в реке при прохождении выдающихся паводков, диктует необходимость пересмотреть параметры как уже ранее построенных защитных дамб, так и проектируемых. Увеличение высоты дамб повлечет существенные дополнительные затраты на их строительство. Во избежание значительных ущербов при прохождении катастрофических паводков необходимо разработать методику, позволяющую заблаговременно прогнозировать уровень воды в Амуре у г. Хабаровска.

В качестве предварительного варианта методики прогноза уровня воды на пике катастрофического паводка предложена методика на основе связи

соответственных уровней воды у с. Ленинское и у г. Хабаровска, позволяющая спрогнозировать уровень воды у г. Хабаровска с заблаговременностью от 2 до 5 сут в зависимости от уровня воды у с. Ленинское. Это даст возможность провести необходимые защитные мероприятия от негативного воздействия вод в районе Хабаровского водного узла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Россия: Речные бассейны. Бассейн Амура. Екатеринбург: Аква-пресс, 2000. 536 с.
- 2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 18. Вып. 1. Л.: Гидрометеоиздат, 1966. 782 с.
- 3. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 18. Вып. 2. Л.: Гидрометеоиздат, 1970, 592 с.
- 4. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 18. Вып. 3. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 626 с.
- 5. Гидрологическая справка по реке Амур. Гидрометеоцентр, Хабаровск, 30.10.2009. 2 с.
- 6. *Воронов Б., Махинов А., Симаков В., Филонов А.* Острова под Хабаровском. Дальневосточный ученый. 2003. № 11 (1164). С. 6–7.
- 7. *Завадский А.С., Иванов В.В, Чалов Р.С.* Геополитические аспекты русловых процессов // Водное хозяйство России. 2010. № 6. С. 35–46.
- 8. *Чайковский Г.П.* Река Амур источник водоснабжения: учеб. пособие. Хабаровск: Изд-во ДВГУГС, 2003. 83 с.
- 9. *Католиков В.М., Католикова Н.И.* О возможных причинах изменения пропускной способности русла Амура у Хабаровска и Комсомольска на Амуре // Экстремальные паводки в бассейне Амура: гидрологические аспекты. СПб: ГГИ, 2015. С. 63–83.
- 10. *Бортин Н.Н., Милаев В.М.* Исследование многолетней динамики и схема сверхдолгосрочного прогноза наводнений на р. Амур // Водное хозяйство России. 2014. № 4. С. 45–58.
- 11. *Махинов А.Н.* Современное рельефообразование в условиях аллювиальной аккумуляции. Владивосток: Дальнаука, 2006. 232 с.
- 12. Дугина И.О. и др. Выдающееся наводнение на р. Амур в 2013 году и его особенности // Докл. VII Всерос. гидролог. съезда. Росгидромет, 2013. С. 22–25.
- 13. Методика оценки вероятностного ущерба от вредного воздействия вод и оценки осуществления превентивных водохозяйственных мероприятий. М.: ВИЭМС, 2005. 152 с.
- 14. СП 58.13330.2012. Гидротехнические сооружения. Основные положения. М., 2013. 39 с.
- 15. *Грек Е.А., Иванов В.А., Молчанова Т.Г.* Катастрофические паводки в бассейне реки Амур в XIX–XX столетиях // Экстремальные паводки в бассейне Амура: гидрологические аспекты. СПб: ГГИ, 2015. С. 3–21.

Для цитирования: Бортин Н.Н., Милаев В.М., Горчаков А.М. Влияние природных и антропогенных факторов на пропускную способность русла реки Амур у города Хабаровска при прохождении паводков // Водное хозяйство России. 2020. № 2. С. 66–82.

Сведения об авторах:

Бортин Николай Николаевич, д-р геогр. наук, директор, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Дальневосточный филиал (ДальНИИВХ), Россия, 690014, г. Владивосток, а/я 153; e-mail: dvf@wrm.ru

Милаев Валерий Максимович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Дальневосточный филиал (ДальНИИВХ), Россия, 690014, г. Владивосток, а/я 153; e-mail: dvf@wrm.ru

Горчаков Анатолий Михайлович, канд. геогр. наук, заведующий отделом гидрологических исследований и водохозяйственных расчетов, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Дальневосточный филиал (ДальНИИВХ), Россия, 690014, г. Владивосток, а/я 153; e-mail: dvf@wrm.ru

NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS IMPACT ON THE AMUR RIVER BED PASSAGE ABILITY NEAR KHABAROVSK DURING FLOOD PASSING

Nikolay N. Bortin, Valeriy M. Milayev, Anatoliy M. Gorchakov

E-mail: dvf@wrm.ru

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

Abstract: The article discusses the range of the Amur River maximal annual levels and water flows near Khabarovsk over the whole period of observations (1896–2019), quantity of outstanding and catastrophic floods. In compliance with references, the articles considered the main characteristics forming the channel processes at the given reach of the river. We have estimated the natural and anthropogenic factors impact on the water flows and levels passage ability in case of catastrophic floods and increasing of the protective facilities' construction cost due to the water level extreme increase caused by anthropogenic factors. We have proposed a method of the maximal water level forecasting near the Khabarovsk water hub.

Key words: floods, channel processes, the bed passage capacity, natural and anthropogenic factors, hydraulic facilities, water levels forecasting.

About the authors:

Nikolay N. Bortin, Doctor of Geographical Sciences, Director, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection Far Eastern Branch (DalNIIVKh), P.O. Box 153, Vladivostok, 690014, Russia; e-mail: dvf@wrm.ru

Valeriy M. Milayev, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection Far Eastern Branch (DalNIIVKh), P.O. Box 153, Vladivostok, 690014, Russia; e-mail: dvf@wrm.ru

Anatoliy M. Gorchakov, Candidate of Geographic Sciences, Head, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection Far Eastern Branch (DalNIIVKh) Department of Hydrological Researches and Water/economic Calculations, P.O. Box 153, Vladivostok, 690014, Russia; e-mail: dvf@wrm.ru

Scientific/practical journal № 2, 2020 г.

For citation: Bortin N.N., Milayev V.M., Gorchakov A.M. Natural and Anthropogenic Factors Impact on the Amur River Bed Passage Ability near Khabarovsk during Flood Passing// Water Sector of Russia. 2020. No. 2. P. 66–82.

REFERENCES

- 1. Rossiya: Rechniye basseyny. Basseyn Amura. [Russia: River basins. The Amur basin]. Ekaterinburg: Akva-press, 2000. 536 c.
- 2. Resursy poverkhnostnykh vod SSSR [Resources of the USSR surface waters]. V. 18. Vyp 1. L.: Gidrometeoizdat, 1966. 782 p.
- 3. Resursy poverkhnostnykh vod SSSR [Resources of the USSR surface waters]. V. 18. Vyp 2. L.: Gidrometeoizdat, 1970, 592 c.
- 4. Resursy poverkhnostnykh vod SSSR [Resources of the USSR surface waters]. V. 18. Vyp 3. L.: Gidrometeoizdat, 1972. 626 c.
- 5. Gidrologicheskaya spravka po reke Amur [Hydrological reference information on the Amur River]. Gidrometeotsentr, Khabarovsk, 30.10.2009. 2 p.
- 6. *Voronov B., Makhinov A., Simakov V., Filonov A.* Ostrova pod Khabarovskom [Islands near Khabarivsk]. DVNTs, № 11 (1164). Vladivostok, 2003. P. 6–7.
- 7. Zavadskiy A.S., Ivanov V.V., Chalov R.S. Geopoliticheskiye aspekty ruslovykh protsessov [Geo/political aspects of channel processes] // Water Sector of Russia. 2010. № 6. P. 35–46.
- 8. *Chaykovskiy G.P.* Reka Amur istochnik vodosnabzheniya [The Amur River as a source of water supply]: ucheb. posobiye. Khabarovsk: Izd-vo DVGUGS, 2003. 83 p.
- 9. *Katolikov V.M., Katolikova N.I.* O vozmozhnykh prichinakh izmeneniya propusknoy sposobnosti rusla Amura u Khabarovska i Komsomolska na Amure [About possible causes of the Amur River bed passage capacity near Khabarovsk and Komsomolsk na Amure] // Ekstremalniye pavodki v basseyne Amura: gidrologicheskiye aspekty. SPb: GGI, 2015. P. 63–83.
- 10. *Bortin N.N., Milayev V.M.* Issledovaniye mnogoletney dinamiki i schema sverkhdolgosrochnogo prognoza navodneniy na r. Amur [Studies of the many-year dynamics and the scheme of super/long/term forecast of floods on the Amur River] // Water Sector of Russia. 2014. № 4. P. 45–58.
- 11. *Makhinov A.N.* Sovremennoye relyefoobrazovaniye v usloviyakh alluvialnoy akkumulyatsiyi [Contemporary relief-forming in the conditions of alluvial accumulation]. Vladivostok: Dalnauka, 2006. 232 p.
- 12. *Dugina I.O., et al.* Vydayushchiyesya navodneniya na r. Amur v 2013 gody i yego osobennosti [Outstanding flood in the Amur river in 2013 and its particular features] //Dokl. VII Vseros. gidrolog. syezda. Rosgidromet, 2013. P. 22–25.
- 13. Metodika otsenki veroyatnostnogo ushcherba ot vrednogo vozdeystviya vod i otsenki osushchestvleniya preventivnykh vodokhozyaystvennykh meropriyatiy [Estimation methods for the probable damage caused by adverse water impact and estimation methods for preventive water/economic measures]. M.: VIEMS, 2005. 152 p.
- 14. SP 58.13330.2012. Gidrotekhnicheskiye sooruzheniya. Osnovniye polozheniya [Hydraulic facilities. Main provisions]. M., 2013. 39 p.
- 15. *Grek E.A., Ivanov V.A., Molchanova T.G.* Katastroficheskiye pavodki v basseyne reki Amur v XIX-XX stoletiyakh [Catastrophic floods in the Amur River basin in XIX–XX centuries] // Ekstremalniye pavodki v basseyne Amura: gidrologicheskiye aspekty. SPb: GGI, 2015. P. 3–21.